

551.482

C-45

ISSN 0130-4887

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ СССР
ПО ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИИ И КОНТРОЛЮ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ

ТРУДЫ
СРЕДНЕАЗИАТСКОГО РЕГИОНАЛЬНОГО
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОГО ИНСТИТУТА
ИМ. В. А. БУГАЕВА

Выпуск 58 (139)

ИЗМЕНЕНИЕ СТОКА р. СЫРДАРЬИ
ПОД ВЛИЯНИЕМ ВОДОХОЗЯЙСТВЕННОГО
СТРОИТЕЛЬСТВА В ЕЕ БАССЕЙНЕ

551.482
с. 15

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ СССР
ПО ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИИ И КОНТРОЛЮ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ

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

Выпуск
58 (139)

Ф. Э. РУБИНОВА

59689
ИЗМЕНЕНИЕ СТОКА р. СЫРДАРЬИ
ПОД ВЛИЯНИЕМ
ВОДОХОЗЯЙСТВЕННОГО
СТРОИТЕЛЬСТВА В ЕЕ БАССЕЙНЕ

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



Излагаются результаты исследования изменения стока р. Сырдарьи 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 полуаридных 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» [53]. Еще более велико будет влияние антропогенных факторов в перспективе, когда предполагается оросить дополнительно десятки миллионов гектаров и осуществить грандиозные работы по межбассейновой переброске стока [59].

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» [53].

Один из теоретиков гидрологической науки В. Г. Глушков [34] 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 [66, 136]. Выводы их относи-

тельно воздействия антропогенных факторов на сток рек часто противоречивы, что связано с большой сложностью рассматриваемой проблемы и скудостью исходной информации. Существует даже мнение о неизменности стока рек при интенсивном водохозяйственном строительстве в их бассейнах [44, 45, 154].

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, прежде всего, представляет интерес исследование влияния ирригационного водопотребления на сток рек. Влияние это проявляется 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. Сырдарьи дана оценка изменения стока реки, его режима и минерализации в современных условиях и в перспективе.

Автор глубоко признателен Р. М. Кутиковой, Ю. П. Ермолаеву, О. И. Ильиной, М. И. Геткеру, А. И. Сергееву и Ю. Н. Иванову за полезные советы при написании и редактировании работы.

АНТРОПОГЕННЫЕ ФАКТОРЫ СТОКА РЕК И МЕТОДЫ ОЦЕНКИ ВЛИЯНИЯ НА НЕГО ХОЗЯЙСТВЕННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

1.1. 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 сколь-нибудь большом бассейне могут действовать если не все, то большинство из приведенных 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 (так называемое двойное регулирование влагообмена). 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 полуаридных 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 (регулиру-

рование 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 сказывается 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, лесопосадки и т. д.), либо с регулированием стока в водохранилищах (Токтогульское, Чарвакское, Нурекское);
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. Сырдарьи уже функционируют Туркское, Чарвакское и ряд других более мелких водохранилищ. Строятся такие гиганты, как Токтогульское и Кампырраватское [52]. После завершения этих строек сток р. Сырдарьи будет полностью зарегулирован (коэффициент зарегулированности составит 0,94). 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 [86]. Кроме того, испаряющая поверхность таких водохранилищ, как правило, невелика по сравнению с объемом и затраты стока на испарение несоизмеримо малы по сравнению с притоком. Так, согласно разработкам САРНИГМИ, испарение с поверхности Чарвакского водохранилища составляет доли процента от поверхностного притока [86]. 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 [83] 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 увеличиться. Л. В. Дунин-Барковский [44] высказал предположение, что это может быть одной из причин неизменности стока при орошении. Однако расчеты, выполненные А. П. Гальцовым [27], А. С. Григорьевой и О. А. Дроздовым [41], О. А. Дроздовым [42], Г. П. Калининским [53], К. В. Кувшиновой [60], А. М. Алпатьевым [7], 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). Поэтому расширение орошаемых площадей на базе местного стока не должно привести к увеличению влагооборота [41]. 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 км^3 (1970 г.) [59] до 200 км^3 , можно ожидать некоторого увеличения осадков (на 50—100 мм) в горах Средней Азии [42].

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 факторы 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 орошаемым, 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 оценки влияния антропогенных факторов на сток рек

Все методы, используемые для оценки влияния хозяйственной деятельности на сток рек, можно условно объединить в две группы [25, 26, 137, 144, 150]: 1) методы, основанные на анализе стоковых рядов в створе реки, замыкающем территорию, на которой осуществляется хозяйственная деятельность; 2) водобалансовые 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 [44, 45, 61], в которых сопоставляется сток р. Сырдарьи в створе Бекабад в среднем за периоды, отличающиеся по величине изъятия стока. Использование столь ограниченной информации, как величины стока в замыкающем створе, без учета естественных колебаний его в зоне формирования, привело, наряду с другими причинами, к неправильному выводу о неизменности стока при орошении [44, 45]. К неверным выводам, как справедливо отмечает И. А. Шикломанов [136, 137], может привести и использование нормированных разностных интегральных кривых [154].

Для равнинных водосборов, расположенных в зоне избыточного и достаточного увлажнения, хорошие результаты [136] дает метод

сопоставления стока в замыкающем створе, осредненного за периоды с разной степенью его использования, с метеорологическими факторами (чаще всего атмосферными осадками) за те же периоды. Этот метод непригоден, однако, для горных водосборов, сведения об осадках в которых весьма ограничены.

Для бассейнов рек с резко разграниченными областями формирования и использования стока более целесообразным является сопоставление естественного притока из области формирования U_n со стоком в створе, замыкающем зону его использования U_o [40, 135, 138, 140, 142]. Сопоставление оттока за пределы мелируемой территории в годы равной водности (по притоку из области формирования), но на разных уровнях водохозяйственного строительства, позволяет судить об изменении стока под влиянием комплекса антропогенных факторов в среднем за достаточно длительные время, необходимое для статистического обоснования зависимостей $U_o = f(U_n)$. 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 (половодье, межень) [135, 140—143].

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 [135, 140, 141]. Для рек, сток которых используется на орошение еще 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 изменения 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 (КПД) и земельного использования (КЗИ), приемы агротехники и т. д.

Учет этого многообразия постоянно изменяющихся факторов в принципе возможен методом множественной регрессии. Полученные уравнения множественной 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 объемах стока и размерах орошаемых площадей.

Систематические сведения за длительный период о других параметрах водохозяйственных систем (КПД и КЗИ, степень дренированности и т. д.), как правило, отсутствуют.

Использование же интегрального антропогенного параметра, характеризующего весь комплекс хозяйственного влияния, связано, как справедливо отмечено в работе [142], с рядом трудностей.

Основная из них заключается в неоднозначности процесса трансформации стока под влиянием антропогенных факторов в ряде ирригационных районов [8, 9, 44, 45, 61, 98—100, 129, 139, 142, 143, 149, 150].

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 стоком возвратных вод с мелиорируемых массивов и сток в замыкающем створе не уменьшался. Примерами таких территорий служат Ферганский и Чирчик-Ахангаран-Келесский ирригационные районы в бассейне р. Сырдарьи, где долгие годы расширение орошаемых площадей не сопровождалось убылью стока в замыкающем створе [98—100, 102, 103].

Аналогичная картина наблюдалась в бассейнах рек Куры и Кубани [135, 139, 142, 143].

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 основных показателей антропогенного воздействия может дать положительные результаты [142]. Расширение орошаемых площадей (размер которых может быть принят в виде аргумента) за счет освоения засушливых 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 орошаемой площади, но и других характеристик водохозяйственного строительства — удельной водообеспеченности (брутто и нетто), уровня агротехники, 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 большего 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, 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» [8, 9, 97—101, 129, 130, 152], 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 уравнения водного баланса территории, составляемого на разные уровни водохозяйственного строительства (при разных площадях, составах культур, КПД систем, КЗИ, 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 структуре затрат стока и его убыли в современных условиях и, что особенно важно, в перспективе.

Применение водобалансовых 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 [73—78, 84, 128, 131], осуществляющими при этом не всегда полный комплекс водобалансовых наблюдений. Это весьма затрудняет создание методов расчета испарения и изменения запасов влаги в почвогрунтах.

Следовательно, применение водобалансовых 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 во времени (5 лет) и по площади (ирригационный район) метод водного баланса территории позволяет оценить не только направленность процесса, но и некоторые его количественные характеристики [97—99, 101].

Поскольку методы как стокового, так и водобалансового на-
правлений имеют и преимущества, и недостатки, для большей до-
стоверности получаемых выводов о влиянии хозяйственной дея-
тельности на сток рек рекомендуется использовать, там где это
возможно, и те и другие.

ГЛАВА 2

ПРИРОДНЫЕ УСЛОВИЯ, ВОДНЫЕ РЕСУРСЫ И ВОДОХОЗЯЙСТВЕННОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО В БАССЕЙНЕ р. СЫРДАРЬИ

Бассейн р. Сырдарьи расположен между $39^{\circ}23'$ — 46° с. ш.
и 61° — $78^{\circ}24'$ в. д. С севера на юг он вытянут на 800 км, а с запада
на восток — на 1600 км; расстояние по руслу от устья до наиболее
удаленной точки ее речной системы составляет 3019 км [95].

Особенностью бассейна, определяющей характер воздействия
антропогенных факторов на сток реки, является четкое деление его
территории на зоны формирования и использования стока. Послед-
нюю В. Л. Шульц подразделяет на зоны «равновесия» и «рассеи-
вания» стока [148]. Введение этих понятий обусловлено коренным
различием гидрологических функций горной и равнинной террито-
рии 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 магист-
ральной сети способствует концентрации стока с равнинной тер-
ритории в русле. В результате на некоторых этапах мелиоративно-
го строительства в благоприятных природных условиях зона рас-
сеивания стока может стать областью его формирования. Поэтому
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 территории бассейна р. Сыр-
дарьи характеризуются высокими летними температурами воздуха
длительным теплым периодом, что позволяет культивировать
ценные теплолюбивые культуры. Небольшое количество атмосфер-
ных осадков и концентрация их в зимне-весенний период создает
необходимость искусственного орошения.

Климатические условия верхней (Ферганская долина и Чир-
чик-Ахангаран-Келесский ирригационный район) и средней зон

позволяют выращивать хлопчатник, который занимает 60—70% всех поливных площадей.

В нижнем течении (ниже к. Кокбулак) доминирует культура риса. В бассейне имеются богатые земельные ресурсы, освоение которых лимитируется недостатком воды.

Природные условия бассейна р. Сырдарьи (рельеф, климат, геологическое строение, почвы, растительный покров и т. д.), а также основные черты гидрологического режима достаточно подробно изложены в работах [51, 52, 95, 149].

Напомним лишь, что разнообразие природных условий издавна определило деление бассейна на следующие части:

1. Верховья (Нарын и Карадарья выше опорных постов);
2. Ферганский ирригационный район (Ферганская долина);
3. Чирчик-Ахангаран-Келесский ирригационный район (ЧАКИР);
4. Среднее течение (Голодная, Дальверзинская и Джизакская степи);
5. Арысь-Туркестанский ирригационный район (АРТУР);
6. Нижнее течение.

Орошение Джизакской степи в современных условиях не влияет на изменение стока р. Сырдарьи.

В верховьях р. Сырдарьи водозаборы сравнительно невелики и не оказывают существенного влияния на сток реки. В связи с этим трансформация стока Сырдарьи под влиянием антропогенных факторов исследовалась в пределах Ферганской долины, ЧАКИРа, Голодной и Дальверзинской степей, где водохозяйственное строительство в последние 30—40 лет было наиболее интенсивным. При оценке изменения стока в нижнем течении реки (к. Тюменьарык и г. Казалинск) учитывались сбросы из АРТУРа.

Ферганский ирригационный район замыкается на р. Сырдарье створом Бекабада, среднее течение — Кокбулаком, нижнее — Казалинском, а ЧАКИР — устьевыми створами на реках Чирчик, Ахангаран, Келес, канале Бозсу и коллекторах.

2.1. Водные ресурсы бассейна р. Сырдарьи

Поверхностный приток в пределы исследуемых ирригационных районов оценивался по данным опорных гидрометеорологических постов, расположенных при 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 гидростов и подводящих ее в пределы исследуемых контуров, суммировался со стоком по опорным постам.

Поверхностные водные ресурсы р. Сырдарьи в пределах Ферганской долины слагаются из стока р. Нарын (53%), Карадарьи (15%) и боковых притоков (32%). При этом сток с 86,2% водо-

сборной площади учтен гидрометрическими постами УГМС Узбекской, Киргизской и Таджикской ССР. По стоку с 2,1% водосборной площади ($H_{\text{ср}} \approx 1950$ м) имеются отрывочные данные постов ММиВХ [99].

Сток, формирующийся в самой низкогорной зоне ($H_{\text{ср}} < 1500$ м), занимающей около 12% всей водосборной площади, не учитывается совсем. По карте модулей стока, составленной В. Л. Шульцем [123], он оценивается в 2,8% учтенного годового стока.

Исходя из высокой синхронности колебания стока в пределах одной гидросиноптической области (Ферганская долина), величины неучтенного стока за конкретные годы приняты пропорциональными гидрометрически учтенному стоку боковых притоков. Правильность такого решения подтверждается наличием хорошей связи ($r=0,80$) между последним и атмосферными осадками низкогорной зоны, формирующими сток ниже опорных гидропостов.

Водные ресурсы ЧАКИРа слагаются из стока р. Чирчик (Ходжикент), Ахангаран (Теляу), Келес (Рамадан), Аксакатасай (Карамазар), Акташ (Акташ) и ряда саев междуречья Чирчика и Ахангарана, сток которых не учитывается гидрометрически. При этом 83% стока формируется в бассейне р. Чирчик, 12% — в бассейне Ахангарана и лишь 5% на всей другой территории. Сток саев, расположенных в междуречьи Чирчика и Ахангарана, определен по картам модулей стока [123] в размере $6 \text{ м}^3/\text{с}$ (2,2% гидрометрически учтенного стока).

В отдельных створах рек бассейна р. Сырдарьи гидрометрические работы начаты в начале XX в., а на большинстве постов — с середины двадцатых и начала тридцатых годов. Поэтому расчетный период выбран с 1925/26 по 1974/75 гг., со сдвигом в отдельных пунктах на один-два года.

Ирригационное строительство вносит в учет водных ресурсов большие трудности, связанные, в основном, с двумя факторами.

Во-первых, современное оборудование большинства гидрометрических постов, а в некоторых случаях и методика измерения расходов не соответствует гидрологическому режиму рек, крайне усложнившемуся в условиях зарегулированного стока. Только неучет суточного хода уровней при отсутствии лимниграфов в створах, расположенных в нижних бьефах водохранилищ, может привести к существенным ошибкам в подсчете стока [57].

Кроме того, измерение расходов воды в условиях неустойчившегося режима, связанного с пусками из водохранилищ, приводит к неустойчивости кривой $Q=f(H)$. Так, в створе к. Кокбулак связь $Q=f(H)$ после ввода в строй Кайраккумского водохранилища значительно ухудшилась.

Второй, не менее важный фактор — это отсутствие равнозначной надежности учета стока двумя ведомствами (УГМС и ММиВХ) в случае, когда часть стока по каналам отводится из реки в обход опорного гидрометрического поста.

С точки зрения объективного учета водных ресурсов такое положение представляется противоестественным. Несомненно, что

усовершенствование методики гидрометрических работ и сосредоточение их в рамках гидрометеорологической службы существенно повысило бы качество учета стока.

Под водными ресурсами принято понимать количество воды, поступающей из области формирования стока. Оценка их в пределах исследуемых регионов приведена в табл. 2.1.

Таблица 2.1

Водные ресурсы р. Сырдарьи в годы различной водности, м³/с

Ирригационный район	Годовой сток обеспеченностью			
	25%	50%	75%	95%
Ферганская долина	916	801	681	581
ЧАКИР	318	269	220	171
Вся хлопководческая зона (до п. Кокбулак)	1239	1087	910	750

В год средней водности поверхностные водные ресурсы р. Сырдарьи в пределах хлопководческой зоны составляют 35,3 км³/год, снижаясь в годы 95%-ной обеспеченности до 23,6 км³/год. Внутригодовое распределение водных ресурсов благоприятно для их использования в ирригации — 72—73% их концентрируется в период май—октябрь.

2.2. Водохозяйственное строительство в бассейне р. Сырдарьи

Бассейн р. Сырдарьи, основная хлопковая база Советского Союза, относится к районам древнего орошения.

В 1913 г. в бассейне р. Сырдарьи (до створа Чардары) орошалось 1073 тыс. га; в том числе в Ферганской долине 743 тыс. га, в ЧАКИРе 219 тыс. га, в Голодной степи 50 и в Дальверзинской — 7 тыс. га.

В годы Гражданской войны и послевоенной разрухи орошаемые площади в бассейне сократились почти на 60% [71]. Однако уже к 1928 г. в результате ряда реконструкций в пределах существующих ирригационных систем был восстановлен довоенный уровень орошения.

В годы первой пятилетки (1929—1932 гг.) ирригационно-мелиоративное строительство заключалось в частичной технической реконструкции старых оросительных систем, создании ряда новых, улучшении водообеспеченности маловодных систем и мелиоративного состояния заболоченных земель. В эти годы осушены значительные площади болот, особенно на территории, расположенной на левом берегу р. Чирчик [71]. В годы второй пятилетки (1933—1938 гг.) развернулось строительство крупных гидротехни-

ческих сооружений на р. Карадарье (Кампырраватская плотина) и на р. Чирчик (Газалкентская плотина). Это позволило перейти к плановому водопользованию в бассейнах этих двух крупнейших рек. Одновременно шли работы по повышению водообеспеченности маловодных систем путем подключения их к многоводным. Однако коренное переустройство водного хозяйства бассейна р. Сырдарьи, позволившее существенно расширить размеры орошаемых земель и повысить их водообеспеченность, началось в 1938—1940 гг., когда методом народной стройки были построены Северный, Южный и Большой Ферганский каналы.

Все последующие годы, за исключением периода Великой Отечественной войны, когда внимание к водному хозяйству было несколько ослаблено, в бассейне р. Сырдарьи велось интенсивное водохозяйственное строительство. В результате старые оросительные системы были значительно переустроены и объединены, построено много новых каналов и гидротехнических сооружений, освоены громадные массивы новых земель, существенно повышен коэффициент земельного использования (КЗИ) староорошаемых районов и их водообеспеченность.

Строительство крупнейшего гидроузла на р. Нарын и ряда насосных станций на р. Сырдарье позволило существенно увеличить размеры земель, орошаемых из этих источников.

В результате этого площади, питающиеся из Карадарьи и боковых притоков Сырдарьи в пределах Ферганской долины, несколько сократились, а водообеспеченность их увеличилась.

Создание в 50—70-х годах Кайраккумского, Чардаринского, Чарвакского, Тюябугузского и других водохранилищ позволило еще больше расширить орошаемые площади и повысить их водообеспеченность. Этой же цели служат Токтогульское и Андижанское и ряд более мелких водохранилищ на притоках р. Сырдарьи, строительство которых проектируется или завершается. Все мероприятия по строительству новых и реконструкции старых оросительных систем и созданию водохранилищ были направлены на рост орошаемых площадей и повышение их водообеспеченности.

Увеличение орошаемых площадей в пределах ирригационных районов бассейна р. Сырдарьи иллюстрирует табл. 2.2.

Согласно этим данным в первой половине 70-х годов орошаемая площадь в верхней части бассейна (Фергана и ЧАКИР) увеличилась относительно начала 30-х годов в 1,6, в среднем течении в 5,6 и в нижнем — в 3,3 раза.

Рост размеров орошаемой площади сопровождался повышением ее водообеспеченности (табл. 2.3).

Оба эти процесса привели к увеличению отъема стока из реки (табл. 2.4, рис. 1). Отсутствие сведений о водозаборе в конце 30-х годов в ряде ирригационных районов ограничило информативность табл. 2.4. Однако и сведения, приведенные в ней, позволяют судить о том, насколько существенно возросло изъятие стока из рек бассейна.

Размер орошаемых площадей в ирригационных районах бассейна р. Сырдарьи, тыс. га

Период осреднения, гг.	Ферганская долина	ЧАКИР	Голодная степь	Дальверзинская степь	Низовья
1925/26—1929/30	670	(190)	62,9	22,0	(46)
1930/31—1934/35	708	(195)	71,6	24,0	(60)
1935/36—1939/40	822	—	90,9	27,0	(72)
1940/41—1944/45	860	(249)	128	24,2	—
1945/46—1949/50	820	244	123	25,2	—
1950/51—1954/55	877	271	182	25,9	(78)
1955/56—1959/60	953	284	223	44,5	(88)
1960/61—1964/65	993	307	291	49,3	(102)
1965/66—1969/70	1057	332	406	43,5	125
1970/71—1974/75	1102	346	486	50	199

Примечание. В скобках приведены площади по данным одного—трех лет.

Таблица 2.3

Удельный водозабор из поверхностных вод в ирригационные районы бассейна р. Сырдарьи, тыс. м³/га

Расчетный период, гг.	Ирригационный район			
	Ферганская долина	ЧАКИР	Среднее течение	Нижнее течение
1935/36—1939/40	11,7		13,9	
1940/41—1944/45	14,3		13,7	
1945/46—1949/50	14,5		13,2	
1950/51—1954/55	14,7	16,3	12,0	46,0
1955/56—1959/60	15,7	16,1	12,3	38,6
1960/61—1964/65	16,4	16,4	14,2	36,5
1965/66—1969/70	17,3	16,7	13,9	45,1
1970/71—1974/75	16,1	16,6	13,5	35,1

Увеличение отъема стока из реки в течение 50—70 годов относительно первой половины 50-х иллюстрирует табл. 2.5, из которой следует, что наиболее интенсивно водозабор увеличивался в среднем и нижнем течении реки и менее всего в ЧАКИРе.

В верхнем и среднем течении более интенсивно увеличивался (относительно принятого исходного уровня) водозабор невегетационного периода, а в нижнем течении — наоборот (табл. 2.5).

Средний за 5 лет водозабор из р. Сырдарьи и ее притоков
относительно водозабора конца 30-х годов, %

Ирригационный район	1940/41—1944/45	1945/46—1949/50	1950/51—1954/55	1955/56—1959/60	1960/61—1964/65	1965/66—1969/70	1970/71—1974/75
Невегетационный период (XI—IV)							
Ферганская долина	142	130	159	242	314	303	324
до створа к. Каль							
До створа г. Бекабад	126	123	140	168	202	206	218
Голодная и Дальвер- зинская степи	95	86	67	105	286	338	456
Вегетационный период (V—X)							
Ферганская долина	150	143	150	188	204	222	222
до створа к. Каль							
До створа г. Бекабад	128	124	131	150	158	184	173
Голодная и Дальвер- зинская степи	138	129	177	228	298	394	445

Таблица 2.5

Средний за 5 лет водозабор из реки Сырдарьи и ее притоков
относительно водозабора первой половины 50-х годов, %

Ирригационный район	Ноябрь—апрель				Май—октябрь				Ноябрь—октябрь			
	1955/56—1959/60	1960/61—1964/65	1965/66—1969/70	1970/71—1974/75	1955/56—1959/60	1960/61—1964/65	1965/66—1969/70	1970/71—1974/75	1955/56—1959/60	1960/61—1964/65	1965/66—1969/70	1970/71—1974/75
Ферганская до- лина до ство- ра к. Каль	152	197	190	203	125	136	148	148	131	152	158	165
То же до г. Бекабад	120	144	147	156	115	121	140	132	116	127	141	138
ЧАКИР	93	122	129	156	105	113	126	126	104	114	126	130
Всего по верхней зоне	116	141	144	156	112	118	136	130	113	124	138	136
Голодная и Даль- верзинская степи	157	430	508	685	129	169	222	252	132	193	252	292
Всего до створа п. Кокбулак	118	156	164	185	115	126	149	148	115	132	152	155
Нижнее течение	79	124	63	92	98	100	174	216	95	104	157	195
Всего до створа г. Казалинск	113	152	151	173	113	122	153	159	112	128	153	161

На каждом уровне водохозяйственного развития суммарный водозабор из реки резко увеличивается от истоков к устью. Если в вегетационный период 1971—1975 гг. выше к. Каль из реки забирали около 500 м³/с воды, то до створа Кокбулак уже 1470 м³/с, а до г. Казалинска 1880 м³/с.

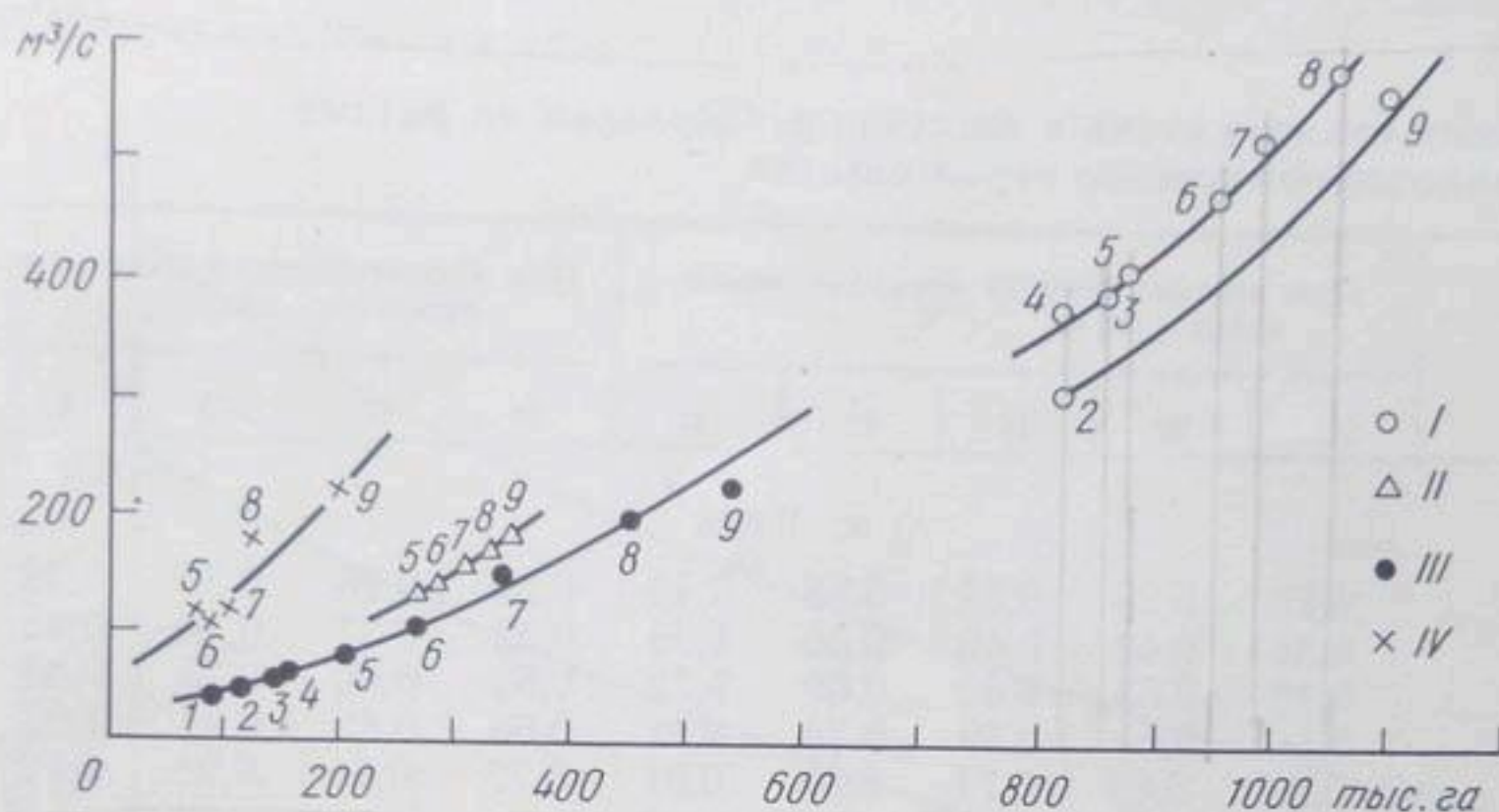


Рис. 1. Зависимость водозабора от размера орошаемых площадей в ирригационных районах бассейна р. Сырдарьи:

I — Ферганская долина, II — ЧАКИР, III — Голодная и Дальверзинская степи, IV — Низовья; пятилетия: 1 — 1931—1935 гг., 2 — 1936—1940 гг., 3 — 1941—1945 гг., 4 — 1946—1950 гг., 5 — 1951—1955 гг., 6 — 1956—1960 гг., 7 — 1961—1965 гг., 8 — 1966—1970 гг., 9 — 1971—1975 гг.

В отдельные маловодные периоды суммарный водозабор в пределах бассейна превышал приток поверхностных вод из области формирования.

Степень использования водных ресурсов характеризует коэффициент изъятия стока ($\alpha_{из}$), представляющий собой отношение суммарного водозабора выше исследуемого створа к притоку из области формирования. В табл. 2.6, полученной по графикам аналогичным показанному на рис. 2.2 приведены значения $\alpha_{из}$ в бассейне р. Сырдарьи.

На каждом уровне водохозяйственного строительства $\alpha_{из}$ увеличивается по длине реки и от многоводных лет к маловодным.

В современных условиях в год средней водности в среднем за май—октябрь выше к. Каль изымается около 70% стока Нарына и Карадарьи, в ЧАКИРе — 85%, а до створа г. Казалинск — 130% поверхностных водных ресурсов р. Сырдарьи.

В годы крайне маловодные (97%-ной обеспеченности) сток, сформированный в горах, практически полностью изымается из реки в пределах Ферганской долины (табл. 2.6), при этом ее водообеспеченность несколько снижается (рис. 2.1), а в нижнем течении коэффициент изъятия стока превышает 1.

В Казалинске в такие годы $\alpha_{из} > 1,7$, что возможно лишь при многократном использовании стока возвратных вод. При одинаковом притоке из области формирования коэффициент изъятия стока

возрастает от года к году. Так, в год средней водности до Бекабада в 30-х годах изымалось 26% водных ресурсов бассейна реки, а в 70-х уже — 68%. Еще более ощутимо повышение $\alpha_{из}$, связанное с расширением орошаемых площадей в маловодные годы (табл. 2.6).

Таблица 2.6

Коэффициент изъятия стока в бассейне р. Сырдарьи на разных уровнях водохозяйственного строительства

Год	При обеспеченности вегетационного стока (%) на					При обеспеченности невегетационного стока (%) на				
	25	50	75	95	97	25	50	75	95	97
к. Каль										
1935—39	0,20	0,26	0,32	0,38	0,40	0,20	0,26	0,30	0,32	
1940—55	0,35	0,42	0,49	0,56	0,59	0,33	0,37	0,40	0,42	
1956—60	0,49	0,53	0,60	0,69	0,72	0,53	0,66	0,75	0,88	0,91
1961—69	0,51	0,61	0,69	0,78	0,82	0,66	0,82	0,91	1,07	1,10
1970—75	0,59	0,68	0,77	0,86	0,91	0,77	0,91	0,98	1,12	1,14
г. Бекабад										
1935—39	0,33	0,40	0,47	0,53	0,55	0,35	0,37	0,38	0,40	0,41
1940—55	0,44	0,50	0,58	0,64	0,67	0,43	0,46	0,49	0,52	0,53
1956—60	0,51	0,59	0,68	0,75	0,78	0,56	0,59	0,63	0,68	0,69
1961—69	0,60	0,68	0,78	0,85	0,88	0,66	0,75	0,85	0,96	0,98
1970—75	0,66	0,74	0,84	0,92	0,96	0,73	0,82	0,92	1,03	1,05
к. Тюменьарык										
1950—55	0,56	0,65	0,72	0,89	0,95	0,44	0,48	0,54	0,59	0,60
1956—60	0,68	0,72	0,84	0,99	1,10	0,52	0,55	0,61	0,66	0,66
1961—66	0,79	0,86	0,98	1,11	1,19	0,64	0,72	0,88	1,07	1,09
1970—75	1,01	1,09	1,20	1,33	1,42	0,77	0,84	1,01	1,22	1,23
г. Казалинск										
1950—65	0,64	0,73	0,81	0,88	0,91	0,50	0,54	0,61	0,66	0,67
1956—60	0,71	0,79	0,90	1,02	1,10	0,56	0,60	0,68	0,73	0,74
1961—66	0,85	0,95	1,08	1,23	1,33	0,65	0,77	0,95	1,08	1,10
1970—75	1,17	1,30	1,46	1,61	1,71	0,88	0,97	1,11	1,21	1,23
ЧАКИР, сбросы в Сырдарью										
1950—61	0,64	0,70	0,77	0,90	0,94	0,26	0,30	0,33	0,40	0,41
1962—75	0,76	0,85	0,97	1,18	1,25	0,36	0,40	0,44	0,52	0,53

Увеличение изъятия стока из реки сопровождалось крупными гидромелиоративными работами, направленными на улучшение мелиоративного состояния земель.

В годы первой пятилетки эти работы были начаты на левом берегу р. Чирчик, а во второй — в бассейне р. Карадарья (Ассакинский сброс) [71]. В эти же годы было начато строительство Сарысуйских, Файзыабадского, Риштанбогдадского коллекторов, которые, однако, не довели воду до русла Сырдарьи, а лишь отодвинули зону затопления от культурных земель вглубь Язъяван-

ской степи. В 1940 г. было закончено строительство Сарысуйских коллекторов, а в 1944 г. — Сохисфаринского, доведшего воду до русла Сырдарьи.

Во время Великой Отечественной войны гидромелиоративное строительство было приостановлено, что привело к ухудшению мелиоративного состояния земель.

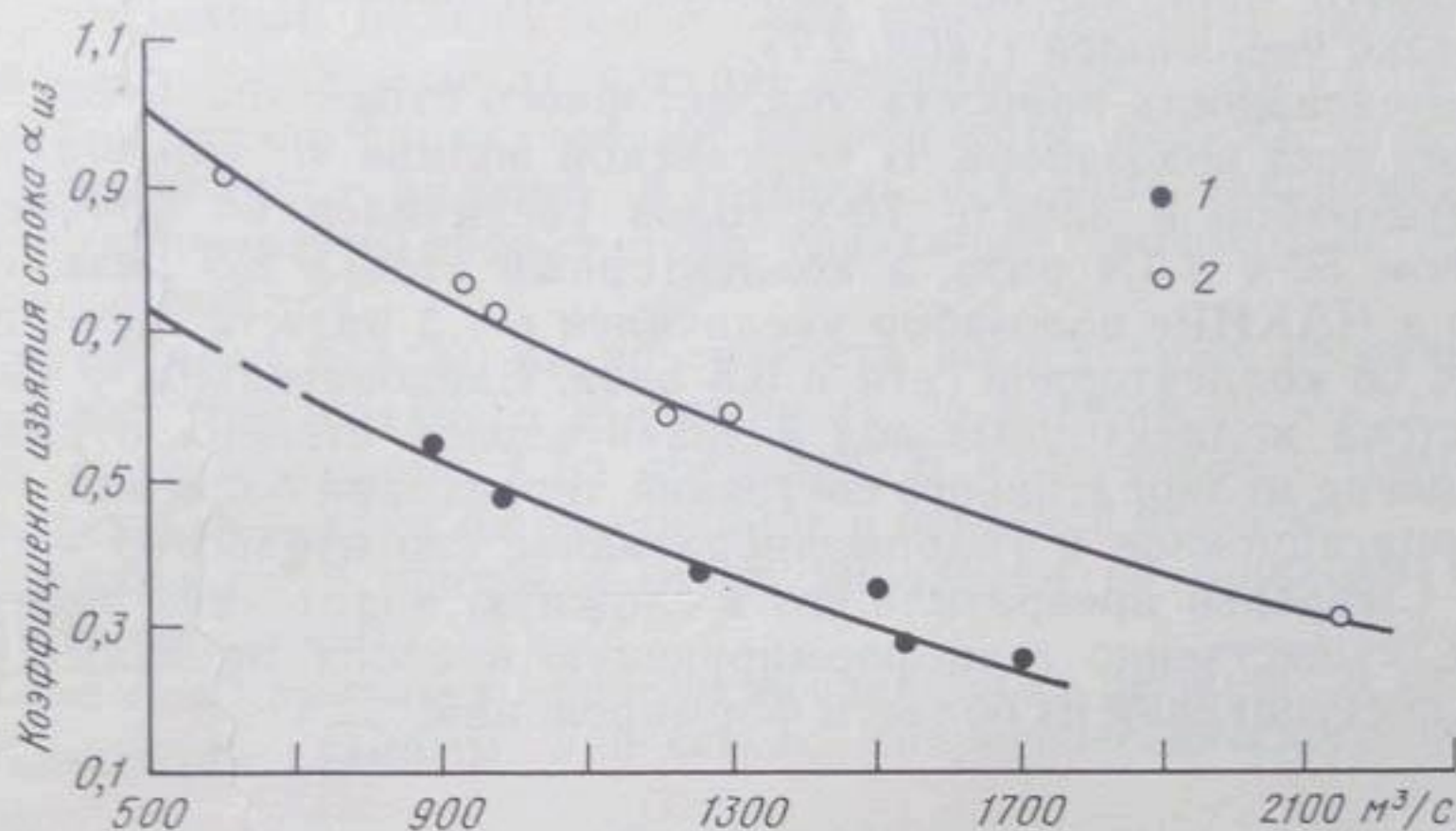


Рис. 2. Изъятие стока в июле из р. Сырдарьи выше кишл. Каль в зависимости от притока по Нарыну и Карадарье:

1 — 1950—1955 гг.; 2 — 1970—1975 гг.

С 1944 г. начались систематические работы по реконструкции старой коллекторно-дренажной сети и строительству новой.

Увеличение выпуска землеройных машин позволило перейти к массовому строительству водоотводящих сбросных трактов.

Таблица 2.7

Годовой сток коллекторных вод в бассейне р. Сырдарьи

Ирригационный район	Сток ($м^3/с$) в среднем за				
	1950/51— 1954/55	1955/56— 1959/60	1960/61— 1964/65	1965/66— 1969/70	1970/71— 1974/75
Ферганская долина	88	127	161	232	218
ЧАКИР	2	6	9	12	13
Голодная степь	7	15	26	59	69
Дальверзинская степь	8	11	13	11	15

В 1950 г. вступил в строй один из крупнейших в Ферганской долине коллекторов — Северо-Богдадский. Большие мелиоративные работы начаты в 1955—1956 гг. в Центральной Фергане.

К началу 50-х годов массовое гидромелиоративное строительство развернулось в Голодной и Дальверзинской степях, где наряду с открытым горизонтальным, массовое распространение получил закрытый горизонтальный и вертикальный дренаж [51].

В результате улучшения степени дренированности орошаемой территории, а также повышения абсолютной и удельной водообеспеченности ирригационных районов сток коллекторно-дренажных вод резко увеличился (табл. 2.7).

Интенсивность прироста коллекторного стока значительно превышает рост водозабора. В Ферганской долине (г. Бекабад) годовой водозабор в начале 70-х годов увеличился по сравнению с началом 50-х в 1,4 раза, а коллекторный сток в 2,5 раза. Аналогично в ЧАКИРе водозабор увеличился в 1,3 раза, а сброс в Сырдарью по коллекторной сети в 6,5 раза. Следовательно, в увеличении стока коллекторных вод в значительной степени отражалось улучшение мелиоративного состояния территории бассейна.

Ирригационное и гидромелиоративное строительство в бассейне р. Сырдарьи превратило его в сложную водохозяйственную систему, существенно трансформирующую в своих пределах речной сток, поступающий из области формирования.

ГЛАВА 3

ВОДНЫЙ БАЛАНС ТЕРРИТОРИИ ИРРИГАЦИОННЫХ РАЙОНОВ И ИЗМЕНЕНИЕ ЕГО СТРУКТУРЫ ПОД ВЛИЯНИЕМ ВОДНЫХ МЕЛИОРАЦИЙ

Водохозяйственное строительство в бассейне р. Сырдарьи, направленное на повышение водообеспеченности территории и улучшение ее мелиоративного состояния, привело к изменению водного режима территории ирригационных районов, количественным выражением которого служит ее водный баланс

$$x + (Y_{\text{п}} - Y_{\text{о}}) + (V_{\text{п}} - V_{\text{о}}) = E_{\text{с}} + \Delta V + \Delta W, \quad (1)$$

где x — атмосферные осадки на поверхность исследуемого региона; $Y_{\text{п}} - Y_{\text{о}}$ — разность между поверхностным притоком в балансируемый контур и оттоком из него или суммарные затраты речного стока P ; $V_{\text{п}} - V_{\text{о}}$ — разность между подземным притоком и оттоком; $E_{\text{с}}$ — суммарное испарение; ΔV — изменение запасов подземных вод; ΔW — изменение запасов влаги в зоне аэрации.

Следовательно, затраты речного стока в сумме с результирующей подземного притока и оттока расходуются на суммарное испарение и пополнение запасов влаги в почвогрунтах.

3.1. Методика оценки элементов водного баланса

Водный баланс территории ирригационных районов составлялся в среднем за пятилетние промежутки. Это позволило свести до минимума случайные погрешности расчета отдельных элементов водного баланса и выявить основные закономерности изменения структуры затрат стока, связанные с водохозяйственным строительством.

Атмосферные осадки на поверхность исследуемых регионов получены методом среднего взвешенного по данным метеостанций и постов, расположенных в их пределах. В измеренные суммы осадков введены поправки на смачивание и ветровой недоучет.

Поверхностный приток и отток определен по опорным гидрометрическим постам.

Подземный приток в пределы исследуемых регионов и отток из них принят по данным Узбекского гидрогеологического объединения.

При составлении водных балансов территории за пятилетний период и при принятой разрезке года изменениями влагозапасов в почвогрунтах можно пренебречь, так как естественная их вариация в этих условиях мала. Лишь в районах, где водные мелиорации приводят к накоплению или сработке запасов грунтовых вод, этот элемент баланса учитывался по уравнению

$$\Delta V = \mu \Delta H \omega, \quad (2)$$

где ΔV — изменение запасов грунтовых вод за расчетный (5 лет) интервал времени; μ — коэффициент водовместимости пород, принятый в первом приближении равным 0,13; ω — валовая площадь в пределах балансируемого контура; ΔH — изменение уровня грунтовых вод, равное

$$\Delta H = H_i - H_{i+1}, \quad (3)$$

где H_i — средневзвешенный по площади уровень грунтовых вод на начало i -го периода; H_{i+1} — то же на начало следующего периода.

Для оценки H_i использованы карты глубин залегания грунтовых вод [101].

Изменение запасов влаги в зоне аэрации на вновь осваиваемых землях определялось по уравнению

$$\Delta W = (H - H_{\text{кк}}) (\alpha_2 - \alpha_1) \Delta F, \quad (4)$$

где ΔW — изменение запасов влаги в зоне аэрации за расчетный интервал времени; H — средняя (по площади) глубина залегания

уровня грунтовых вод на осваиваемой территории; $H_{\text{кк}}$ — высота капиллярной каймы; α_1 — исходная влажность (объемная) неорошаемых почв в слое от верхней границы капиллярной каймы до дневной поверхности; α_2 — значение объемной влажности, при котором начинается движение влаги вниз, в том же слое после орошения; ΔF — приращение орошаемой площади за расчетный период.

Разность $\alpha_2 - \alpha_1$ представляет собой приращение влажности, связанное с началом орошения, в единице объема почвы. Величина ΔW показывает, какое количество воды при орошении целины с глубоким исходным УГВ может быть поглощено почвогрунтами.

Методика оценки суммарного испарения с поверхности территории ирригационных районов — одно из самых слабых мест в водобалансовых расчетах.

В пределах орошаемой зоны можно выделить четыре вида испаряющих поверхностей, существенно отличающихся друг от друга. Это — водная поверхность, орошаемые земли, внутрисистемные перелог и земли с естественным увлажнением.

Испарение с водной поверхности каналов обычно не превышает 1% водозабора [47, 79, 134] и на стадии предварительных расчетов им можно пренебречь.

Испарение с поверхности водохранилищ может быть существенным. Методы расчета этой величины разработаны достаточно детально. В наших расчетах использованы данные лаборатории озер и водохранилищ САРНИГМИ.

Испарение с земель с естественным увлажнением, а также на внутрисистемных перелогах существенно зависит от уровня залегания грунтовых вод.

При глубине залегания грунтовых вод ниже 3 м от поверхности земли испарение с неорошаемых земель практически равно атмосферным осадкам [49, 56].

При более высоких уровнях грунтовых вод (в зоне их выклинивания, в поймах рек) в процессе испарения вместе с атмосферными осадками участвует речной сток.

Испарение с внутрисистемных перелогов также зависит от уровня грунтовых вод.

Согласно исследованиям САНИИРИ [78] в низовьях р. Амударьи испарение с перелогов при высоком стоянии УГВ и глубокой корневой системе (верблюжья колючка при густоте стояния 0,7) составляет 66% величины испарения с хлопкового поля.

По данным ВНИИГМИ [73] перелог в зоне влияния канала при уровне грунтовых вод 2—4 м и сомкнутости растительного покрова 0,8 (около 50% площади занимает верблюжья колючка, остальная часть — полынь, солянка, эфемеры) теряет около 600 мм, т. е. около 80% испарения с хлопкового поля.

Согласно данным Г. С. Ефимова [49] перелог в орошаемой зоне теряет в среднем 50% «безвозвратного» водопотребления орошаемого гектара.

Трудности в расчете испарения с неорошаемых земель, расположенных в пределах орошаемого массива, заключаются, прежде всего, в оценке площади с высоким стоянием зеркала грунтовых вод. Кроме того, отсутствуют достаточно четкие рекомендации по расчету слоя испарения с таких земель.

В связи с этим затраты речного стока на испарение с неорошаемых земель оценивались как остаточный член уравнения водного баланса.

Основной частью «безвозвратного» водопотребления в орошаемой зоне является испарение сельскохозяйственных полей.

Процесс испарения — транспирации с любой подстилающей поверхности, и в особенности с орошаемого поля, очень сложен. Он определяется большим числом факторов, из которых основными являются тепловые и водные ресурсы, вид испаряющей поверхности, глубина залегания грунтовых вод, их минерализация, техника орошения, КЗИ массива и т. д.

Вероятно, поэтому литература, посвященная этому вопросу, так обширна, а общепринятой методики, несмотря на существование рекомендаций [94], пока не имеется.

Наибольшего внимания в силу научной обоснованности и практической применимости заслуживают методы, разработанные С. И. Харченко [129, 131], Т. М. Гельбух [29—31] и Б. Е. Милькисом с Ф. А. Муминовым [74—76, 84].

В основу эмпирических уравнений, полученных этими авторами, положены данные теплобалансовых наблюдений за испарением с орошаемых культур (главным образом хлопчатника), произрастающих в условиях оптимального увлажнения.

По методу Гельбух испарение с хлопчатника равно

$$E = K R_n, \quad (5)$$

где K — коэффициент, показывающий соотношение между затратами тепла на испарение LE и радиационным балансом хлопкового поля R_n .

Использование этой методики для конкретных лет и даже пятилетий затруднительно из-за сложности расчета за эти периоды величин радиационного баланса поля.

Более доступной в этом отношении представляется методика, разработанная Б. Е. Милькисом и Ф. А. Муминовым:

$$E = K Q, \quad (6)$$

где K — коэффициент, характеризующий отношение испарения к приходу суммарной радиации; Q — приход суммарной радиации, рассчитываемый по данным метеостанций, расположенных в пределах исследуемого региона. Обе методики учитывают физиологические особенности растений в разные фазы их развития, так как значения коэффициентов K приводятся по месяцам.

Вместе с тем постоянство коэффициентов K по площади и от года к году позволяет оценить лишь климатический фон испаре-

ния, без учета влияния таких факторов, как уровень грунтовых вод, водно-физические свойства почвогрунтов и их минерализация, уровень агротехники и т. д.

Методика Харченко позволяет рассчитывать испарение за более короткие промежутки времени

$$E = E_0 \beta \frac{W_n + W_k}{2\gamma}, \quad (7)$$

где E_0 — испаряемость, определенная по отношению затрат тепла на испарение и радиационного баланса; β — биологический параметр, зависящий от фазы развития растений и состояния деятельной поверхности; γ — параметр, характеризующий водно-физические свойства почвогрунтов; W_n и W_k — влагозапасы в зоне аэрации в начале и конце расчетного периода.

При расчете испарения с поверхности ирригационных районов по уравнению (7) необходимо осуществить большой комплекс полевых исследований для оценки его параметров (средневзвешенных по площади). Предлагаемые эмпирические методы оценки этих параметров получены в конкретных природно-хозяйственных условиях и не всегда репрезентативны для других.

Вместе с тем в условиях орошаемого земледелия при значительном осреднении во времени и по территории величины W_n и W_k практически не меняются.

В значительной мере сглаживается влияние ряда азональных факторов.

В связи с этим при решении уравнения водного баланса территории ирригационного района за пятилетний период времени мы воспользовались менее точной, но более простой методикой расчета испарения, разработанной в САРНИГМИ Ю. Н. Ивановым.

Расчетный метод получен в результате анализа и обобщения значительного материала экспедиционных и стационарных исследований по учету испарения с хлопковых полей методом теплового баланса.

При помощи серии графиков, связывающих испарение с температурой и влажностью воздуха, определены величины месячного испарения с хлопчатника по ряду метеостанций, расположенных в пределах орошаемой зоны.

Средневзвешенный слой испарения хлопковым полем в пределах ирригационных районов, полученный по методу Иванова (табл. 3.1), хорошо согласуется с данными других авторов. Согласно расчетам Т. М. Гельбух [28—30] хлопковое поле в бассейне р. Сырдарьи испаряет за вегетационный период 750—850 мм, за год 800—1000 мм. По Б. Е. Милькису испарение с хлопковых полей в пределах Ферганской долины в вегетацию колеблется в пределах 800—850 мм [76]. По нашим расчетам в хлопководческой зоне в среднем за 1930—1975 г. хлопчатник испаряет за вегетацию 780—790 мм, а за год 980—1000 мм. За отдельные годы вегетационное испарение хлопчатником в пределах ирригационных районов бассейна р. Сырдарьи колеблется от 600 до 870 мм.

Среднее за пятилетия испарение с орошаемой территории
ирригационных районов в бассейне р. Сырдарьи, мм

Ирригационный район	1930/31—1934/35	1935/36—1939/40	1940/41—1944/45	1945/46—1949/50	1950/51—1954/55	1955/56—1959/60	1960/61—1964/65	1965/66—1969/70	1970/71—1974/75
---------------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------

Испарение с хлопчатника, вегетационный период (V—X)

Ферганская долина	790	813	817	806	779	770	765	759	784
ЧАКИР	798	826	824	781	784	765	779	795	799
Голодная степь	789	761	788	784	753	763	781	801	804
Дальверзинская степь	804	825	842	812	796	779	756	749	778
Нижнее течение		675	695	681	687	664	690	680	637

Год (XI—X)

Ферганская долина	988	1022	1011	1015	965	967	975	961	988
ЧАКИР	983	1025	1010	971	949	946	979	990	994
Голодная степь	995	1001	1017	1018	927	946	990	1001	1002
Дальверзинская степь	1001	1043	1048	1035	986	988	978	961	983
Нижнее течение		803	830	811	812	788	829	823	760

Испарение с комплексного гектара, вегетационный период (V—X)

Ферганская долина	837	862	850	822	787	770	757	774	815
ЧАКИР	798	826	824	781	784	765	787	819	839
Голодная степь	828	799	827	823	798	824	828	817	820
Дальверзинская степь	820	842	859	828	820	810	786	764	809
Нижнее течение		965	994	974	982	950	987	972	911

Год (XI—X)

Ферганская долина	1035	1071	1044	1030	973	968	967	975	1019
ЧАКИР	983	1025	1011	971	949	946	987	1014	1034
Голодная степь	1033	1039	1056	1057	972	1007	1037	1017	1018
Дальверзинская степь	1017	1059	1066	1050	1010	1020	1009	977	1014
Нижнее течение		1093	1129	1104	1107	1074	1126	1115	1034

При этом в некоторых районах наблюдается слабо выраженная тенденция к уменьшению со временем испарения с хлопковых полей (табл. 3.2).

Наблюдаемая тенденция связана с хозяйственной деятельностью, поскольку в колебаниях метеорологических факторов (температура и влажность воздуха) пустынных метеостанций она не обнаружена.

Помимо хлопчатника в ирригационных районах бассейна р. Сырдарьи выращиваются другие культуры, имеющие, как правило, подчиненное значение в хлопководческой зоне. В низовьях бассейна доминирует культура риса.

Испарение с других сельскохозяйственных культур определено по переходным коэффициентам, представляющим отношение испарения исследуемой культуры к испарению хлопчатником [75].

Таблица 3.2

Среднее за 1957/58—1974/75 гг. испарение хлопчатником в ирригационных районах бассейна р. Сырдарьи

Ирригационный район	Испарение			
	тыс. м ³ /га		в % относительно среднего за 1930/31—1957/58 гг.	
	май—октябрь	ноябрь—апрель	май—октябрь	ноябрь—апрель
Ферганская долина	7,68	9,71	96	97
ЧАКИР	7,84	9,76	98	99
Голодная степь	7,92	9,90	97	100
Дальверзинская степь	7,66	9,77	94	96
Низовья	6,69	8,03	99	100

При помощи этих коэффициентов и по данным о структуре орошаемых площадей получены величины испарения с комплексного орошаемого гектара (табл. 3.1).

Водный баланс территории ирригационных районов, составленный для разных уровней водохозяйственного строительства, позволяет оценить структурные сдвиги в нем в зависимости от природных особенностей мелиорируемых территорий, стадии и темпов их освоения.

Результирующей водного баланса территории, характеризующей взаимодействие комплекса природных и хозяйственных процессов, связанных с водными мелиорациями, являются затраты стока — интегральный показатель «безвозвратного» водопотребления района орошения.

3.2. Затраты стока в пределах ирригационных районов в бассейне Сырдарьи

Суммарные затраты стока в пределах ирригационных районов определены по разности поступления стока в пределы балансируемого контура и оттока из него (табл. 3.3).

Для контроля полученных результатов затраты стока до створа Кокбулака и Казалинска оценены еще и суммированием затрат в ирригационных районах, замыкаемых этими створами.

Разница в величинах затрат стока до створа к. Кокбулак, оцененных двумя способами, не превышает 7%. Это позволяет надеяться, что полученные оценки близки к реальным.

Таблица 3.3

Суммарные затраты стока в бассейне р. Сырдарьи, осредненные по пятилетиям, м³/с

Створ	Способ оценки затрат	Расчетный период									
		1925/26—1929/30	1930/31—1934/35	1935/36—1939/40	1940/41—1944/45	1945/46—1949/50	1950/51—1954/55	1955/56—1959/60	1960/61—1964/65	1965/66—1969/70	1970/71—1974/75
к. Кокбулак	По разности притока и оттока	389	391	392	435	405	426	480	513	633	598
»	По сумме затрат в ирригационных районах		353	385	433	389	405	514	543	634	629
г. Казалинск	По разности притока и оттока						770	794	718	942	875
»	По сумме затрат в ирригационных районах				502	489	519	622	661	834	862

Затраты стока до створа г. Казалинска, вычисленные по разности притока и оттока, оказались несколько выше, чем сумма затрат в пределах ирригационных районов. В маловодные периоды эта разница существенно уменьшается. В многоводные периоды на современном этапе (1966—1970 гг.) она вдвое меньше, чем в начале 50-х годов (табл. 3.3).

Следовательно, в нижнем течении реки существенную роль в убыли стока играют потери в пойме реки, особенно большие в многоводные годы. По мере роста использования стока в хозяйстве эти потери уменьшаются.

Динамика затрат стока в пределах ирригационных районов бассейна р. Сырдарьи определяется как антропогенными, так и природными факторами. Роль последних особенно велика на территориях дренируемых рекой.

Если в качестве индекса, характеризующего влияние на затраты стока естественных факторов, принять приток из области формирования (рис. 3), то точки на графике $P_c=f(Y_n)$ сгруппируют-

ся в определенной последовательности, по этапам, соответствующим уровню водохозяйственного строительства.

На каждом из них затраты зависят от притока с гор. При равном притоке из области формирования затраты стока в пределах ирригационных районов определяются уровнем использования стока (рис. 3, табл. 3.4).

Таблица 3.4

Затраты стока в пределах ирригационных районов бассейна р. Сырдарьи на равных уровнях водохозяйственного строительства в год средней водности ($P=50\%$)

Ирригационный район, закрывающий створ	Затраты (м ³ /с) в среднем за годы				Затраты в среднем за 1966—1975 гг. относительно среднего за годы, %		
	1911—1925	1926—1940	1950— 1965	1966— 1975	1911— 1925	1926— 1940	1950— 1965
Ферганская долина (г. Бекабад)	308	270	315	350	114	130	111
ЧАКИР (устьевые створы)	66	66	90	108	164	164	120
Всего в верхней зоне	374	336	405	458	122	136	113
Хлопководческая зона (к. Кокбулак)	390	390	457	600	154	154	131
Всего в бассейне р. Сырдарьи (г. Казалинск)			730	890			122

Так, в пределах Ферганской долины в первый период группируются 1910—1925 гг. (рис. 3 а).

В следующий этап, характеризующийся снижением затрат стока, группируются 1926—1940 гг. В первой половине этого периода уменьшение затрат стока связано, вероятно, с уменьшением водопотребления в годы послевоенной разрухи и проведения водоземельной реформы, осуществление которой всячески тормозилось бандами басмачей. В первые годы второй пятилетки в пределах верхней части бассейна р. Сырдарьи начаты работы по улучшению мелиоративного состояния территории. Это привело, несмотря на увеличение размеров орошаемых площадей, к уменьшению затрат стока.

В первой половине 40-х годов затраты стока в Ферганской долине увеличились (рис. 3 а) в результате пуска в эксплуатацию ряда новых каналов, а также в связи с неупорядоченным водопользованием во время Великой Отечественной войны.

В послевоенный период (1945—1951 гг.), а затем в 1952—1957 гг. в связи с предпринятой реконструкцией оросительных систем, некоторым уменьшением орошаемых площадей, упорядочением водопользования и крупным мелиоративным строительством затраты стока несколько уменьшились.

И, наконец, в период 1960—1975 гг. затраты стока в Ферганской долине резко увеличились.

Проведенный анализ еще раз показал, как сложен, динамичен и неоднозначен процесс трансформации речного стока под влиянием антропогенных факторов. В целом по хлопководческой зоне (выше к. Кокбулак) затраты стока также растут с увеличением притока с гор (рис. 3 в). При равном притоке из области формирования затраты стока в этом створе резко возросли в начале 60-х годов.

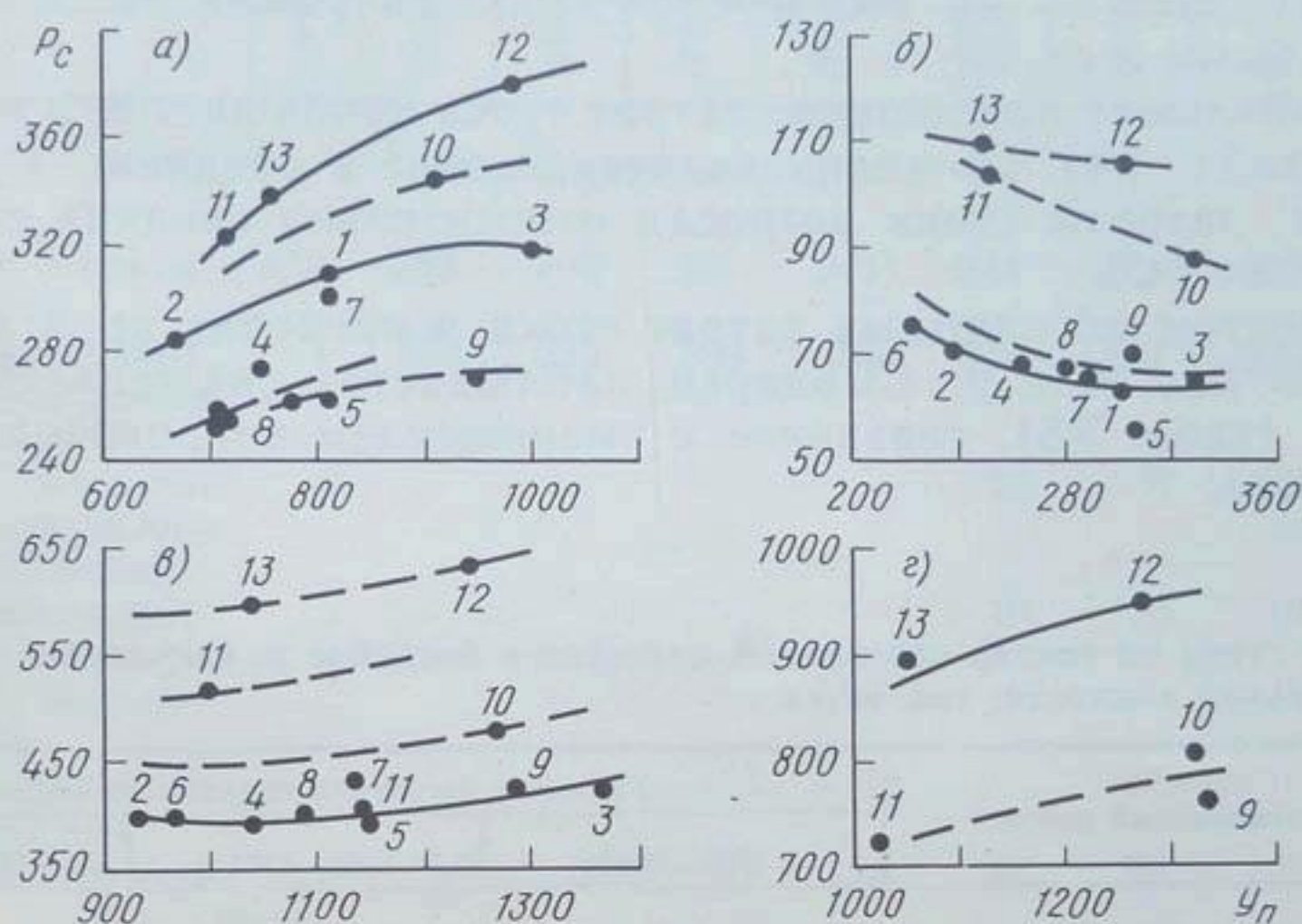


Рис. 3. Зависимость затрат стока ($\text{м}^3/\text{с}$) в пределах ирригационных районов бассейна р. Сырдарьи от притока ($\text{м}^3/\text{с}$) из области формирования в Ферганской долине (а), ЧАКИРе (б), хлопководческой зоне (в), всего бассейна р. Сырдарьи (г); пятилетия:

1 — 1911—1915 гг., 2 — 1916—1920 гг., 3 — 1921—1925 гг., 4 — 1926—1930 гг., 5 — 1931—1935 гг., 6 — 1936—1940 гг., 7 — 1941—1945 гг., 8 — 1946—1950 гг., 9 — 1951—1955 гг., 10 — 1956—1960 гг., 11 — 1961—1965 гг., 12 — 1966—1970 гг., 13 — 1971—1975 гг.

В ЧАКИРе, в отличие от других ирригационных районов, затраты стока на каждом уровне водохозяйственного строительства имеют тенденцию к уменьшению с увеличением притока с гор (рис. 3 б).

Это кажущееся уменьшение затрат стока в многоводные годы по сравнению с маловодными связано с методикой их оценки по разности притока Y_n через опорные посты и оттока Y_o через замыкающие створы. В многоводные годы ниже опорных гидрометрических постов формируется сток, фиксируемый в замыкающих створах. В результате затраты в такие годы оказываются заниженными против фактических. Это обстоятельство весьма затрудняет достоверную оценку абсолютных величин затрат стока в ЧАКИРе.

Зависимости $P_c = f(Y_n)$, приведенные на рис. 3, в силу слабой статистической обоснованности носят в основном иллюстративный характер. Однако они позволяют в первом приближении оценить

колебания затрат стока под воздействием комплекса антропогенных факторов, исключив при этом влияние притока из области формирования.

Для этого сопоставим затраты стока на разных уровнях его использования, но при равном притоке с гор.

В год средней водности наименьшие затраты стока наблюдались в период 1926—1940 гг. В 50-е годы и начале 60-х они увеличились. В среднем за 1960—1975 гг. относительно среднего за 1925—1940 гг. затраты стока до Бекабада возросли на $90 \text{ м}^3/\text{с}$, а до Кокбулака — на $190 \text{ м}^3/\text{с}$. Эти оценки убыли стока близки к приводимым в гл. 5.

Наибольшее приращение затрат стока наблюдается в последние годы (табл. 3.4). По хлопководческой зоне в среднем за 1966—1975 гг. затраты стока возросли относительно средних за 1926—1940 гг. на 54%.

С ростом абсолютных затрат стока в пределах ирригационных районов бассейна р. Сырдарьи наблюдается снижение удельных затрат (табл. 3.5), связанное с уменьшением непроизводительных его потерь.

Таблица 3.

Затраты стока на гектар орошаемой площади в бассейне р. Сырдарьи в год средней водности, тыс. $\text{м}^3/\text{га}$

Ирригационный район	Удельные затраты в среднем за годы		
	1926—1940	1950—1965	1966—1975
Ферганская долина	11,6	10,5	10,2
ЧАКИР	10,7	9,9	10,0
Хлопководческая зона (ст. Кокбулак)	12,0	9,6	9,9
Весь бассейн (ств. г. Казалинска)		14,5	13,5

Затраты стока слагаются из суммарного испарения с орошаемых и неорошаемых земель, водотоков и водоемов, промышленно коммунального водопотребления, а также объемов стока, идущих на заполнение мертвых объемов водохранилищ и пополнение запасов грунтовых вод и зоны аэрации.

К затратам стока следует, вероятно, отнести объемы коллекторно-дренажных и сбросных вод, отводимых за пределы орошаемой территории, но не возвращающихся в источник орошения, теряющихся на испарение в естественных впадинах и понижениях на периферии орошаемой территории.

Структура затрат стока в пределах ирригационных районов определяется природно-хозяйственными особенностями и стадией освоения территории (табл. 3.6).

Таблица 3.6

Структура суммарных затрат стока в пределах
ирригационных районов бассейна р. Сырдарьи

Элементы расчета	Единицы измерения	Расчетный период							
		1935/36—1939/40	1940/41—1944/45	1945/46—1949/50	1950/51—1954/55	1955/56—1959/60	1960/61—1964/65	1965/66—1969/70	1970/71—1974/75
Ферганская долина									
Суммарные затраты стока	м³/с	258	302	261	271	344	323	382	340
Затраты на испарение с орошаемых полей	»	228	215	209	196	214	237	233	284
Затраты, связанные с Кайраккумским водохранилищем	»					32	5	28	—6
Промышленно-коммунальное безвозвратное водопотребление	»					16	16	18	18
Изменение запасов грунтовых вод	»			—36	—20				2
Неучтенные затраты стока	»	30	87	88	95	82	65	103	42
Неучтенные затраты стока относительно суммарных	%	11,6	28,8	33,8	35,0	23,8	20,1	27,0	12,3
ЧАКИР									
Суммарные затраты стока	м³/с	76	65	67	69	87	104	106	109
Затраты на испарение с орошаемых полей	»		46	44	42	44	58	72	73
Промышленно-коммунальное безвозвратное водопотребление	»				10	10	10	10	10
Неучтенные затраты стока	»		19	23	17	33	36	24	26
Неучтенные затраты стока относительно суммарных	%		29,3	34,4	24,6	37,9	34,6	22,6	23,8
Голодная и Дальверзинская степи									
Суммарные затраты стока	м³/с	51,1	65,8	60,8	64,8	82,8	116	146	180
Затраты на испарение с полей и переделов	»	32,8	38,9	42,6	42,9	56,9	78,8	88,3	136

Элементы расчета	Единицы измерения	Расчетный период							
		1935/36—1939/40	1940/41—1944/45	1945/46—1949/50	1950/51—1954/55	1955/56—1959/60	1960/61—1964/65	1965/66—1969/70	1970/71—1974/75
Сброс в Арнасайские озера	м ³ /с					3,6	4,9	23,3	35,4
Затраты на аккумуляцию в почвогрунтах	»	7,5	10,7	7,6	10,8	7,6	13,2	15,8	8,9
Неучтенные затраты стока	»	10,8	16,2	10,6	11,1	14,7	19,1	18,6	—0,3
Неучтенные затраты стока относительно суммарных	%	21,1	24,6	17,4	17,1	17,8	16,5	12,7	0
Нижнее течение									
Суммарные затраты	м ³ /с		69,3	100	114	108	118	200	245
Затраты на испарение с орошаемых полей	»		26,9	23,4	20,4	25,1	31,3	38,3	56,2
Затраты на аккумуляцию в почвогрунтах	»						0,1	0,9	—0,5
Испарение с Чардаринского водохранилища	»							22,0	22,0
Неучтенные затраты стока	»		42,4	76,6	93,6	82,9	86,6	117	167
Неучтенные затраты стока относительно суммарных	%		61,2	76,6	82,2	76,6	73,4	58,6	68,1

Во всех ирригационных районах, за исключением низовий, доминирующей компонентой в суммарных затратах является испарение с орошаемых полей.

На порядок меньше безвозвратное промышленно-коммунальное и бытовое водопотребление.

Испарение с поверхности Чардаринского водохранилища соизмеримо с затратами стока на испарение с орошаемых полей низовий (табл. 3.6). В пределах среднего течения часть стока расходуется на аккумуляцию в почвогрунтах и в Арнасайском понижении. Роль последнего вида затрат особенно возросла в конце 60-х и начале 70-х годов (табл. 3.6) в связи с освоением новой зоны Голодной степи.

По мере хозяйственного освоения территории в структуре суммарных затрат возрастает удельный вес испарения с орошаемых полей и уменьшается непроизводительное испарение, определенное по разности суммарного и учтенного испарения.

Лишь в низовьях р. Сырдарьи, где коллекторно-дренажная (межхозяйственная и магистральная) сеть развиты слабо, непроизводительные потери стока не только не уменьшаются, но увеличиваются от года к году (табл. 3.6).

Это, безусловно, резерв экономии стока, который позволит при повышении КЗИ и степени дренированности территории увеличить орошаемые площади без сокращения стока в реке. Следовательно, в перспективе возможны дальнейшие сдвиги в структуре затрат стока в ирригационных районах бассейна р. Сырдарьи в сторону снижения непроизводительных затрат стока.

Выводы

1. Использованный методический прием сопоставления затрат стока на разных уровнях водохозяйственного строительства при равном притоке из области формирования позволил установить следующее. Затраты стока увеличиваются по мере расширения водохозяйственного строительства; особенно интенсивно этот процесс происходит в последние годы.

На каждом этапе водохозяйственного строительства затраты стока в пределах ирригационного района зависят от водности лет, возрастая от маловодных к многоводным.

2. Водохозяйственное строительство в бассейне реки привело к сдвигу в структуре затрат стока в сторону увеличения испарения с орошаемых полей и сокращения непроизводительных затрат стока.

3. Суммарные удельные затраты стока в период интенсивного водохозяйственного строительства уменьшились за счет сокращения непроизводительных его затрат.

4. В перспективе возможны дальнейшие сдвиги в структуре затрат стока в пределах ирригационных районов бассейна р. Сырдарьи в сторону снижения непроизводительных его затрат.

ГЛАВА 4

ВОЗВРАТНЫЙ СТОК

Орошение земель в современных условиях сопровождается процессом формирования на них стока, который в ирригационной практике принято называть возвратным.

В условиях острого дефицита водных ресурсов в Средней Азии исследование возвратных вод очень важно как с точки зрения дополнительного источника орошения, так и для оценки мелиоративного состояния орошаемых массивов, а также качества воды.

Сложность, многофакторность, динамичность этого процесса и отсутствие достаточно надежной информации определяют большие трудности в методике исследования возвратных вод и разногласия в их количественной оценке.

Сток возвратных вод, формирующихся в Ферганской долине, определен в размере от 37—45% [8, 11, 33, 98, 100, 112] до 28% [129, 132], а в Голодной степи от 30% [101] до 15% [132] от водозабора. Такая разноречивость в величинах стока возвратных вод в значительной степени определяется отсутствием обоснованного приема их оценки и даже единой терминологии.

Первые сведения о возвратных водах относятся к концу 20-х годов, когда ирригаторы и гидротехники, исследуя русловой баланс рек Средней Азии, пришли к выводу о формировании в зоне, расположенной ниже опорных гидрометрических постов «добавочных», «дополнительных», «выклинивающихся» вод. В ирригационной практике эти воды называли «возвратными».

В работах [18, 70] подчеркивается, что термин «возвратные воды» удачно характеризует один из главных источников их происхождения — речной сток. Вместе с тем в них говорится, что этот источник хотя и является главным, но не единственным, так как некоторую роль в формировании дополнительных водных ресурсов играют атмосферные осадки. В связи с этим термин «добавочные» воды [18, 70] является более правильным, хотя «указывает только на сам факт дополнительного питания реки и ирригационной системы, не предвещая вопроса об источнике их питания».

Несмотря на различия в терминологии, первые исследователи этого явления не расходились в оценке его сущности. Так, по А. В. Чаплыгину [127] «добавочное питание реки» осуществляется за счет сбросных и фильтрационных вод от орошения, осадков и грунтовых вод.

По определению М. А. Шмидта [145, 146] возвратный сток формируется из фильтрационных потерь как при орошении, так и при прохождении естественного потока по конусу выноса. Шмидт не отрицал также участия естественных подземных вод в формировании возвратного стока. В. Л. Шульц [15] и И. М. Луценко [70] придерживались той же точки зрения о природе возвратных вод, считая, что последние формируются из фильтрационных потерь воды из каналов, русел рек (ниже опорных гидрометрических постов), на полях орошения и частично атмосферных осадков.

В современной научной литературе прочно утвердился термин «возвратные» воды. Однако смысл, вкладываемый разными авторами в это понятие, существенно различен. В конце 40-х годов М. А. Шмидт и А. И. Шевченко [146] предложили различать возвратные воды в ирригационном и гидрогеологическом понимании.

С точки зрения гидрогеолога [146] возвратные воды — это «воды, выбывшие из массы поверхностного стока определенного бассейна и затем снова, в некоторой их части, поступающие в этот же сток, в пределах того же бассейна» подземным путем. В ирригационном понимании возвратные воды — это «те воды, которые

будучи захвачены из источника питания оросительной системой, затем снова поступают в этот же или смежный водоток» либо поверхностным, либо подземным путем [146]. Воды, теряющиеся в руслах рек и возвращающиеся в них или в пределах системы, в этом случае не относятся к возвратным.

Такое же определение возвратных вод дано в работах С. И. Харченко и Г. П. Левченко [68, 128, 129, 132], где «под собственно возвратными водами понимается ирригационная составляющая динамических запасов (стока) грунтовых вод и поверхностный сток оросительных вод с орошаемых полей».

Аналогичное определение возвратных вод дано Т. Н. Аткарской [8—11] как стока, формирующегося «из вод, профильтровавшихся с орошаемых земель и оросительной сети в грунтовый поток и выклинивающихся в коллекторы, реки, озера и т. д., а также из сбросных оросительных вод».

Вместе с тем, отождествляя в Ферганской долине возвратный сток с коллекторно-дренажным, она не отрицает участия в процессе формирования возвратных вод факторов, не связанных с водозабором на орошение.

В. П. Светицкий [112] в отличие от всех предыдущих авторов не включает в состав возвратных вод поверхностный сброс с орошаемых полей. По его определению «возвратные воды — часть стока, взятая из водного источника, поступившая подземным путем в естественную или искусственную гидрографическую сеть и далее в эти источники или в естественные понижения и водоемы».

Вместе с тем ряд авторов [33, 46, 114] считает, что источником формирования возвратных вод могут служить «как сбросные и фильтрационные воды, связанные с орошением, так и фильтрационные воды, формирующиеся естественным путем и разгружающиеся в гидрографическую сеть».

Существуют расхождения точек зрения и по поводу конечного водоприемника возвратных вод. По определению Харченко и Левченко [128, 132] сток называется возвратным, если он поступает в источник орошения или «промежуточный» водоем, из которых может повторно использоваться на орошение.

По мнению других авторов [10, 11, 18, 33, 70, 82, 112, 113, 147] сток является возвратным независимо от того, попадает он в источник орошения, в замкнутые естественные понижения и водоемы или используется на орошение внутри региона. В современных условиях, когда коллекторный сток интенсивно (особенно в маловодные периоды) используется на орошение [48], лишь часть возвратных вод попадает в источник орошения. Поэтому вторая точка зрения, по-видимому, более верна.

Большинство исследователей ставят знак равенства между понятиями возвратный и коллекторно-дренажный сток, считая, что второй является внутрисистемной разновидностью первого. Харченко и Левченко [68, 129, 132] считают, что возвратный сток составляет лишь часть коллекторно-дренажного, сформированного под влиянием ирригационных факторов.

Аналогично, в работе [37] возвратный сток подразделяется на коллекторно-дренажный сток в Сарыкамышскую впадину, и возвратный — в р. Амударью, хотя генезис этих вод одинаков.

Эти разночтения в понимании возвратных вод можно существенно уменьшить, если исходить из задачи их исследования.

Для оценки эффективности использования водных ресурсов в оросительной системе, вероятно, правильнее исследовать возвратные воды в ирригационном понимании.

Однако с точки зрения оценки водных ресурсов для нижележащих территорий следует рассматривать возвратные воды в более широком смысле — как сток, сформированный ниже опорных гидрометрических постов под влиянием всего комплекса хозяйственной деятельности.

Разумеется, не весь этот сток может концентрироваться в естественной или искусственной гидрографической сети. Часть его, при мозаичном характере орошения и недостаточно развитой магистральной коллекторной сети, может теряться на испарение с внутрисистемных перелогов и местных замкнутых понижений.

В связи с этим делаются попытки разделить понятия стока с орошаемых полей (массивов) и возвратного стока.

Харченко и Левченко [132] предлагают первый называть «оросительным» или «ирригационным» [68], а Леонов [67] — «локальным».

Между тем различия между стоком, сформированным в пределах орошаемого поля (массива), и его величиной в водоприемнике носят, на наш взгляд, не качественный, а количественный характер и связаны в конечном итоге с уровнем ведения водного хозяйства.

В принципе при высоком КЗИ орошаемого массива, достаточной его дренированности и наличии магистральной водоотводящей сети подавляющая масса стока, формирующегося в пределах его, может быть отведена в источник орошения.

С другой стороны, некоторая часть возвратных вод используется для повторного орошения в районах их формирования. Так, в пределах Ферганской долины в маловодные годы широко распространена водоподача коллекторных вод на орошаемые поля [48] и откачка грунтовых вод, которые на 95% формируются из поверхностных водных ресурсов.

Эти воды не доходят до русла р. Сырдарьи; вместе с тем, по генезису своему являются возвратными.

Поэтому, чтобы не вводить новой терминологии и без того запутанной в этом вопросе, назовем сток, сформированный ниже опорных гидростов под влиянием хозяйственной деятельности, возвратным, помня о том, что величина его может быть различна на границе поля, массива и региона, замкнутого створом на реке.

Сток с орошаемой территории, концентрирующийся в естественной или искусственной гидрографической сети, состоит из подземной и поверхностной составляющих.

Первая из них в общем случае формируется из естественного подземного стока на территорию и фильтрационных потерь:

- 1) с орошаемых полей;
- 2) в подводящей и разводящей сети ирригационной системы;
- 3) в руслах рек на конусах выноса;
- 4) атмосферных осадков.

Поверхностная составляющая возвратных вод может формироваться из:

- 5) сбросов с орошаемых полей и из оросителей;
- 6) стока атмосферных осадков.

Из них первый, второй и пятый факторы связаны с ирригацией, а другие — нет [18], т. е. первые носят явно антропогенный характер, а остальные существенно зависят от природных условий, которые, впрочем, корректируются хозяйственной деятельностью.

Вклад перечисленных факторов в процесс формирования стока с орошаемых территорий существенно различен и может меняться даже в пределах одного района в зависимости от изменения природно-хозяйственной обстановки.

Однако в любом случае в подавляющей своей массе возвратные воды обязаны своим происхождением поверхностному стоку.

По данным [80] до 95% своего питания подземные воды верхнего и среднего течения р. Сырдарьи получают за счет фильтрации и инфильтрации поверхностных речных вод. Аналогичные данные приводятся для бассейна р. Чу [55].

Следовательно, основным источником формирования подземной составляющей возвратных вод являются фильтрационные потери поверхностных речных вод на полях орошения и в руслах каналов и рек.

Фильтрационные потери на полях орошения (площадная фильтрация) и в каналах (линейная фильтрация) обычно относят к антропогенным факторам, а фильтрационные потери в руслах рек — к природным.

Потери на линейную фильтрацию существенно зависят от уровня технического оснащения каналов, от эффективности противофильтрационных мероприятий на них.

Потери на площадную фильтрацию определяются водно-физическими свойствами почвогрунтов, уровнем залегания грунтовых вод, степенью дренированности территории, качеством планировки, техникой полива, квалификацией поливальщика и т. д. На большинстве старых ирригационных систем, где оросительная сеть проходит в земляном русле, линейная фильтрация преобладает над площадной или соизмерима с ней [54, 92].

На новых оросительных системах, где межхозяйственная сеть оснащена противофильтрационной защитой, а внутрихозяйственная представлена лотками, резко повышается роль площадного источника фильтрации (за счет повышения КЗИ) и снижается линейная.

В современных условиях 25—30% воды, отводимой по коллекторно-дренажной сети Голодной степи, формируется за счет потерь из оросительной сети [91].

В перспективе фильтрационные потери должны сократиться. Облицовка каналов противофильтрационной защитой, качественная планировка полей должны свести до минимума линейную и сократить удельную площадную фильтрацию. Однако и в случае осуществления противофильтрационных мероприятий вряд ли можно полностью исключить потери на фильтрацию, как это делается в работе [132].

Опыт строительства в Голодной степи [47] показал, что применение различных видов противофильтрационных защит каналов в земляном русле снижает потери на фильтрацию в 2—5 раз, но не исключает ее полностью.

Замена внутрихозяйственной оросительной сети в земляном русле лотковой также не исключает полностью фильтрационных потерь вследствие деформации лотков и течи их на стыках.

В целом проведение противофильтрационных мероприятий может существенно сократить линейную фильтрацию. Согласно [47] завершение облицовки межхозяйственных каналов в зоне нового орошения Голодной степи может повысить технический КПД системы ЮГК до 95,6% (против 92,5% в современных условиях).

Вместе с тем расширение массивов орошаемых земель, повышение их КЗИ должны привести при современной технике орошения к увеличению объема воды, затрачиваемой на площадную фильтрацию.

Поверхностные сбросы с орошаемых полей и из оросителей связаны как с техникой полива, так и с дефектами эксплуатации систем. В современных условиях доля этих вод в оттоке с орошаемой территории может быть велика [82].

В перспективе при совершенствовании технического оснащения ирригационных систем и, главным образом, введении автоматической системы управления (АСУ) эксплуатационные сбросы существенно сократятся. Однако при сохранении бороздкового способа полива нельзя рассчитывать на полную ликвидацию сбросных вод даже в образцово налаженных ирригационных системах.

К природным факторам формирования стока на орошаемых землях относят атмосферные осадки и естественную грунтовую составляющую стока рек и коллекторов [11, 128, 129, 132].

Последняя может слагаться из подземного притока из области формирования и фильтрационных потерь поверхностного стока на конусах выноса ниже опорных гидрометрических постов.

Вопрос об участии подземного притока из области формирования стока в оттоке воды по коллекторам и руслам рек является дискуссионным.

При хорошей естественной дренированности территории можно ожидать выклинивания подземных вод в каналы и реки (выше водозаборов) или в виде самостоятельных родников. Тогда эти воды вместе с поверхностным притоком участвуют в процессе испаре-

ния на орошаемых полях и перелогох и лишь частично попадают в коллекторы и русло реки.

Допущение о том, что подземный приток с гор полностью выклинивается в коллекторы и русло Сырдарьи, представляется мало реальным. Однако, если даже это имеет место, то участие подземных вод в формировании стока возвратных вод несоизмеримо мало по сравнению с ирригационной составляющей*. В Ферганской долине при водозаборе (1971—1975 гг.) $19 \text{ км}^3/\text{год}$ и стоке возвратных вод около $9 \text{ км}^3/\text{год}$ подземный приток с гор составляет всего $1 \text{ км}^3/\text{год}$.

В условиях подгорной равнины, примером которой служит Голодная степь, при водозаборе $6,3 \text{ км}^3/\text{год}$ (1971—1975 гг.) и стоке возвратных вод $2,2 \text{ км}^3/\text{год}$, подземный приток составляет $0,2 \text{ км}^3/\text{год}$.

Поскольку земли перспективного орошения расположены главным образом в районах, аналогичных Голодной степи, в будущем вряд ли можно рассчитывать на существенный вклад подземного притока к ирригационным районам.

Фильтрационные потери в руслах рек на конусах выноса могут быть в отдельных регионах значительным источником пополнения запасов подземных вод [18, 55, 80].

Как и фильтрационные потери ирригационного происхождения, они не возвращаются целиком в коллекторно-дренажную и речную сеть, а частично выклиниваются в русла «Карасу» и каналов, откуда забираются на орошение. Кроме того, часть этих вод (при высоком залегании уровня грунтовых вод) расходуется на испарение и транспирацию.

Фильтрационные потери в руслах рек лишь на первый взгляд могут быть отнесены к чисто природным факторам формирования стока в орошаемой зоне. По мере осуществления водохозяйственного строительства существенно изменяются условия формирования и разгрузки этих вод. Строительство развитой ирригационной сети, разбирающей водный поток уже на вершине конуса выноса, приводит к уменьшению фильтрационных потерь из русла реки [118, 133]. С другой стороны, создание развитой коллекторно-дренажной сети способствует концентрации этих вод и отведению их в русло.

Хозяйственная деятельность существенно корректирует и другой природный фактор формирования стока с орошаемых земель — атмосферные осадки. Если количество их целиком определяется природными закономерностями, то стокоформирующая роль зависит от хозяйственного освоения территории.

При высоком залегании уровня грунтовых вод часть атмосферных осадков расходуется на питание грунтовых вод.

По расчетам Д. М. Каца [54] в Голодной степи при глубине залегания грунтовых вод 1,9 м на их питание в 1950 г. (осадки

* За исключением территорий с усиленным подземным притоком или случаев, когда вертикальный дренаж вскрывает напорные воды.

200 мм) пошло 12%, а в 1953 г. (467 мм) — 34% выпавших атмосферных осадков. При близком залегании грунтовых вод (до 2 м) верхняя граница капиллярной каймы лежит у поверхности. В этом случае атмосферные осадки вызовут подъем уровня грунтовых вод путем гидростатического давления на верхние концы капилляров, отжатия влаги в них и капиллярного сброса. Особенно благоприятные условия для питания грунтовых вод атмосферными осадками создаются в период проведения влагозарядковых и промывных поливов, когда влажность почвы близка к полной влагоемкости, а испарение мало.

В условиях хорошо развитой дренирующей сети часть атмосферных осадков, аккумуляировавшихся в грунтовых водах, может вместе с ними выклиниваться в дренажную сеть.

При высокоразвитом уровне ведения водного хозяйства, когда вся орошаемая территория покрыта густой сетью коллекторов и дренажей, зона рассеивания стока в отдельные периоды может превращаться в зону его формирования.

Исследования ГГИ на Нижнедонской оросительной системе [69] показали, что в среднем за три года зимний сток на коллекторах частично (10—15%) формируется из поверхностного стока талых и дождевых вод. В весенний период (март—апрель) на коллекторах проходит паводок; в это время на долю поверхностных вод приходится 55% стока. Экспериментальные данные ГГИ показывают, что коэффициент стока с орошаемых полей составляет в этих условиях 0,12, с заболоченных и переувлажненных — 0,57 и непосредственно в русловой и дренажной сети 0,90—0,97.

Равнинная территория в условиях аридного среднеазиатского климата является зоной рассеивания, а не формирования стока. Однако в отдельные периоды оросительная и коллекторная сеть может служить местом концентрации талого стока.

Так, древний канал Даргом (бассейн р. Заравшан) при помощи образовавшейся сети оврагов дренирует Даргомскую степь, собирает ее талые воды [151]. Естественно, что вероятность формирования талого стока на равнинной территории повышается в годы обильным увлажнением.

Исследования [105] показали, что метеорологическая обстановка, благоприятная для формирования значительных вод талых паводков, повторяется в Ферганской долине раз в 25 лет, а в Голодной степи — раз в 100 лет. В Ферганской долине сток этот концентрируется в один весенний месяц (март) и составляет 10—20% гидрометрически учтенного стока или 1,2% нормы годового.

Вероятность повторения менее значительных паводков более велика и увеличивается по мере роста густоты искусственной гидрографической сети.

Исследования, выполненные на примере Голодной степи [105] показали, что объем паводка, сформировавшегося в метеорологических условиях, повторяющихся в среднем раз в 100 лет, составляет около 300 млн. м³ или 23% стока по коллекторно-дренажной сети за этот год. В годы, не столь обильные атмосферными осадками

величина этого стока существенно ниже. Однако по мере подъема уровня грунтовых вод и развития коллекторно-дренажной сети на орошаемой территории роль атмосферных осадков в формировании стока с орошаемого массива может существенно повыситься.

Итак, сток, формирующийся в орошаемой зоне под влиянием, главным образом, антропогенных факторов (названный нами для преемственности терминологии возвратным) в общем случае состоит из перечисленных компонент.

Из них ирригационные компоненты, безусловно, превалируют. Однако в отдельные периоды и в ряде орогидрографических районов может повышаться роль так называемых природных факторов. Влияние этих последних также связано с деятельностью человека. Лишь создание искусственной гидрографической сети и подъем уровня грунтовых вод на орошаемых массивах создали условия для формирования стока с орошаемой территории в годы, экстремальные по увлажнению атмосферными осадками, равно как увеличили степень дренирования подземного потока.

Талый паводок, сформировавшийся на равнинной и низкогорной территории Ферганской долины, в 1969 г. был существенно больше, чем в 1921 г. при аналогичной метеорологической обстановке, по менее развитой искусственной гидрографической сети [105].

Создание коллекторно-дренажной сети является необходимым условием для формирования талого стока и на орошаемых землях юга ЕТС [67].

В свете сказанного деление факторов, формирующих сток в орошаемой зоне на антропогенные (ирригационные) и природные, представляется условным и трудно осуществимым.

Поэтому, рассматривая этот сток с точки зрения дополнительных (вторичных) водных ресурсов, оценим его интегрально.

Существующие методы приближенной оценки возвратных вод основаны либо на уравнивании водного баланса территории [128—130, 132, 134], либо на русловом водном балансе [10, 11, 33, 112, 113].

Преимущество первого метода перед вторым очевидно, так как он позволяет оценить величину возвратных вод в системе еще в стадии ее проектирования. Однако невысокая точность определения составляющих водного баланса территории не гарантирует приемлемой степени достоверности полученной оценки.

При исследовании стока с орошаемой территории мы исходим из того, что в районах, где имеют место, в основном, внутрисистемные возвратные воды (например, Голодная степь), они оцениваются гидрометрически как суммарный сток по коллекторам.

В ирригационных районах, где река обладает дренирующей способностью, а магистральные коллекторы, помимо основной своей функции, транспортируют транзитный сток боковых притоков (Ферганская долина) и служат источником орошения, коллекторный сток, вопреки утверждению [10, 11], не может служить коли-

чественной оценкой возвратного стока, формирующегося в пределах ирригационного района. В этих условиях величина возвратных вод рассчитывалась, исходя из приведенных ниже соображений.

4.1. Расчет возвратных вод в бассейне р. Сырдарьи

Сток р. Сырдарьи при выходе из Ферганской долины (г. Бекабад) складывается из:

а) транзитного стока Y_T , т. е. части стока, не забранного на орошение в пределах Ферганской долины, а транзитом проходящего по руслу реки и ее притоков;

б) стока возвратных вод, сформировавшихся в пределах орошаемых массивов $Y_{\text{воз}}$ и подземным или поверхностным путем дошедшего до замыкающего створа.

Подрусловой сток р. Сырдарьи в створе Бекабада отсутствует и

$$Y_0 = Y_T + Y_{\text{воз}}, \quad (8)$$

откуда

$$Y_{\text{воз}} = Y_0 - Y_T. \quad (9)$$

Следовательно, расчет стока возвратных вод в створе, замыкающем исследуемый район, сводится к оценке стока транзитных вод.

В первом приближении величина эта равна

$$Y_T = (Y_{\text{п. ст.}} - Y_{\text{вод. ст.}} - P_{\text{ст.}}) + (Y_{\text{п. бок.}} - Y_{\text{вод. бок.}} - P_{\text{бок.}}) + V_{\text{п}}, \quad (10)$$

где $Y_{\text{п. ст.}}$ и $Y_{\text{п. бок.}}$ — поверхностный приток из области формирования соответственно по основному стволу р. Сырдарьи (Нарын и Карадарья) и ее боковых притоков в пределах Ферганской долины; $Y_{\text{вод. ст.}}$ и $Y_{\text{вод. бок.}}$ — водозабор из ствола р. Сырдарьи и ее боковых притоков; $V_{\text{п}}$ — русловое выклинивание части подземного притока из области формирования; $P_{\text{ст.}}$ и $P_{\text{бок.}}$ — потери на фильтрацию и испарение из русла р. Сырдарьи и ее боковых притоков.

С тем чтобы не преувеличить величину возвратных вод, примем, что весь подземный приток из области формирования доходит транзитом до створа г. Бекабада (т. е. $V_{\text{п}}' = V_{\text{п}}$), хотя с большей вероятностью можно предположить обратное.

Русло Сырдарьи в пределах Ферганской долины дренирует прилегающую территорию. Лишь в отдельные периоды маловодных лет, когда уровни грунтовых вод на территории снижаются ниже горизонтов воды в реке, наблюдается обратная картина.

Поэтому в первом приближении примем величину $P_{\text{ст.}} = 0$.

Геологическое строение Ферганской долины таково, что большинство боковых притоков, выйдя из зоны формирования стока, попадает на конусах выноса в зону провальной фильтрации.

Поэтому не все «излишки» стока боковых притоков ($Y_{п. бок.} - Y_{вод. бок.}$) достигают русла р. Сырдарьи поверхностным путем.

Часть этого стока, фильтруясь на конусах выноса, проходит сложный подземный путь, в конце которого либо выклинивается в каналы, реки, родники и коллекторы, либо испаряется с поверхности территории с близким залеганием уровня грунтовых вод.

Сток, выклинивающийся в русло р. Сырдарьи и коллекторов, фиксируется в створе г. Бекабада.

Согласно гидрогеологическим расчетам, выполненным в институте Средазгипроводхлопок по материалам наблюдений в бассейне р. Сох фильтрационные потери в руслах боковых притоков в пределах Ферганской долины в среднем равны $65 \text{ м}^3/\text{с}$. Исходя из этого, условно примем, что при разности $Y_{п. бок.} - Y_{вод. бок.}$, меньшей $65 \text{ м}^3/\text{с}$, поверхностный боковой транзит в Сырдарью отсутствует. В противном случае до реки поверхностным путем доходит лишь сток, превышающий фильтрационные потери.

Тогда уравнение (10) запишем в виде

$$Y_T = (Y_{п. ст.} - Y_{вод. ст.}) + (Y_{п. бок.} - Y_{вод. бок.} - 65). \quad (11)$$

С 1956 г. в связи со строительством Кайраккумского водохранилища часть стока (транзитного и возвратного) расходуется на испарение с его чаши и на заполнение ее емкости. Следовательно, транзитный сток, поступающий в створ, замыкающий Ферганскую долину, изменился на величину $E' + \Delta W'$, где E' — затраты транзитного стока на испарение с поверхности водохранилища; $\Delta W'$ — затраты транзитного стока на заполнение мертвого объема водохранилища и его регулирующей емкости. Неучет величины $E' + \Delta W'$ ведет к искажению, чаще преувеличению, доли транзитного стока в створе Бекабад, рассчитываемому по уравнению (8). Величину $E' + \Delta W'$ можно ориентировочно оценить как

$$(E + \Delta W)(1 - \alpha_{воз}), \quad (12)$$

где $E + \Delta W$ — затраты стока, связанные с Кайраккумским водохранилищем; $1 - \alpha_{воз}$ — доля транзитного стока в годовом стоке р. Сырдарьи в створе Бекабада (при отсутствии водохранилища), полученная по уравнению (9). Отток в этом уравнении принят с поправками, компенсирующими затраты стока и его регулирование в Кайраккумском водохранилище. Эта оценка, в некотором приближении, характеризует долю транзитного стока в створе выше водохранилища.

Годовой сток возвратных вод в створе, замыкающем Ферганскую долину, в условиях работы Кайраккумского водохранилища тогда равен

$$Y_{воз} = Y_0 - Y_T + (E + \Delta W)(1 - \alpha_{воз}). \quad (13)$$

Результаты расчетов, осредненные по пятилетиям, приведены в табл. 4.1.

Расчет стока возвратных вод, выходящих за пределы Чирчик-Ахангаран-Келесского ирригационного района, выполнен по уравнению

$$U_{\text{воз}} = \Sigma U_o - (U_{\text{п}} - U_{\text{вод.}}) - (V_{\text{п}} - V_o), \quad (14)$$

где ΣU_o — суммарный сток р. Чирчик, Ахангаран и Келес, канала Бозсу и коллекторов в устьевых створах; $U_{\text{п}}$ — суммарный приток из области формирования; $V_{\text{п}} - V_o$ — результирующая подземного притока и оттока.

Таблица 4.1

Годовой сток возвратных вод (осредненный по пятилетиям) на границе ирригационных районов в бассейне р. Сырдарьи

Ирригационный район	Сток возвратных вод (м ³ /с) в среднем за							
	1935/36—1939/40	1940/41—1944/45	1945/46—1949/50	1950/51—1954/55	1955/56—1959/60	1960/61—1964/65	1965/66—1969/70	1970/71—1974/75
Ферганская долина г. Бекабад	120	175	201	224	234	269	296	283
ЧАКИР				79	65	62	77	79
Голодная степь				6	14	26	55	68
в т. ч. в Сырдарью				6	11	21	32	33
в Арнасай					3	5	23	35
Дальверзинская степь				8	11	13	11	15
Хлопководческая зона (створ к. Кокбулак)				290	283	271	321	294
в т. ч. в Сырдарью				290	280	266	298	259
Всего в хлопководческой зоне (сумма на границе районов)				317	324	370	439	445

Как и в Ферганской долине, принято, что эта результирующая полностью попадает в русло р. Сырдарьи.

Хотя гидромелиоративное строительство в этом районе началось уже в годы первой пятилетки [7], оценку возвратных вод удалось получить лишь с 1950 г., ибо с этого времени мы располагаем сведениями о водозаборе.

Вследствие повторного использования возвратных вод в пределах Ферганской долины и ЧАКИРа приведенная выше методика позволяет учесть их лишь на границе этих регионов. Следовательно, эта оценка пригодна лишь для расчета водных ресурсов ниже лежащей территории.

Возвратный сток в створе к. Кокбулак получен суммированием возвратных вод, поступающих в русло р. Сырдарьи из Ферганской долины, ЧАКИРа, Голодной и Дальверзинской степей:

$$(Y_{\text{воз}} - \alpha_{\text{воз}} Y_{\text{вод}}) + Y'_{\text{воз}} + Y''_{\text{воз}}, \quad (15)$$

где $Y_{\text{воз}} - \alpha_{\text{воз}} Y_{\text{вод}}$ — транзитный возвратный сток из Ферганской долины; $Y_{\text{воз}}$ — возвратный сток в створе г. Бекабада; $\alpha_{\text{воз}}$ — доля возвратных вод в стоке р. Сырдарьи в створе водозабора в среднем течении (г. Бекабад); $Y'_{\text{вод}}$ — водозабор в Голодную и Дальверзинскую степи; $\alpha'_{\text{воз}} Y'_{\text{вод}}$ — количество возвратных вод в створе г. Бекабада, изымаемое из Сырдарьи для орошения среднего течения; $Y'_{\text{воз}}$ — возвратный сток из ЧАКИРа; $Y''_{\text{воз}}$ — возвратный сток из Голодной и Дальверзинской степей.

Полученные оценки величин возвратных вод носят в силу целого ряда принятых допущений ориентировочный характер и должны уточняться по мере накопления информации о водном режиме орошаемых земель. Однако они позволяют судить о динамике возвратных вод и основных закономерностях их формирования.

В практике водохозяйственных расчетов принято выражать возвратный сток в процентах относительно водозабора.

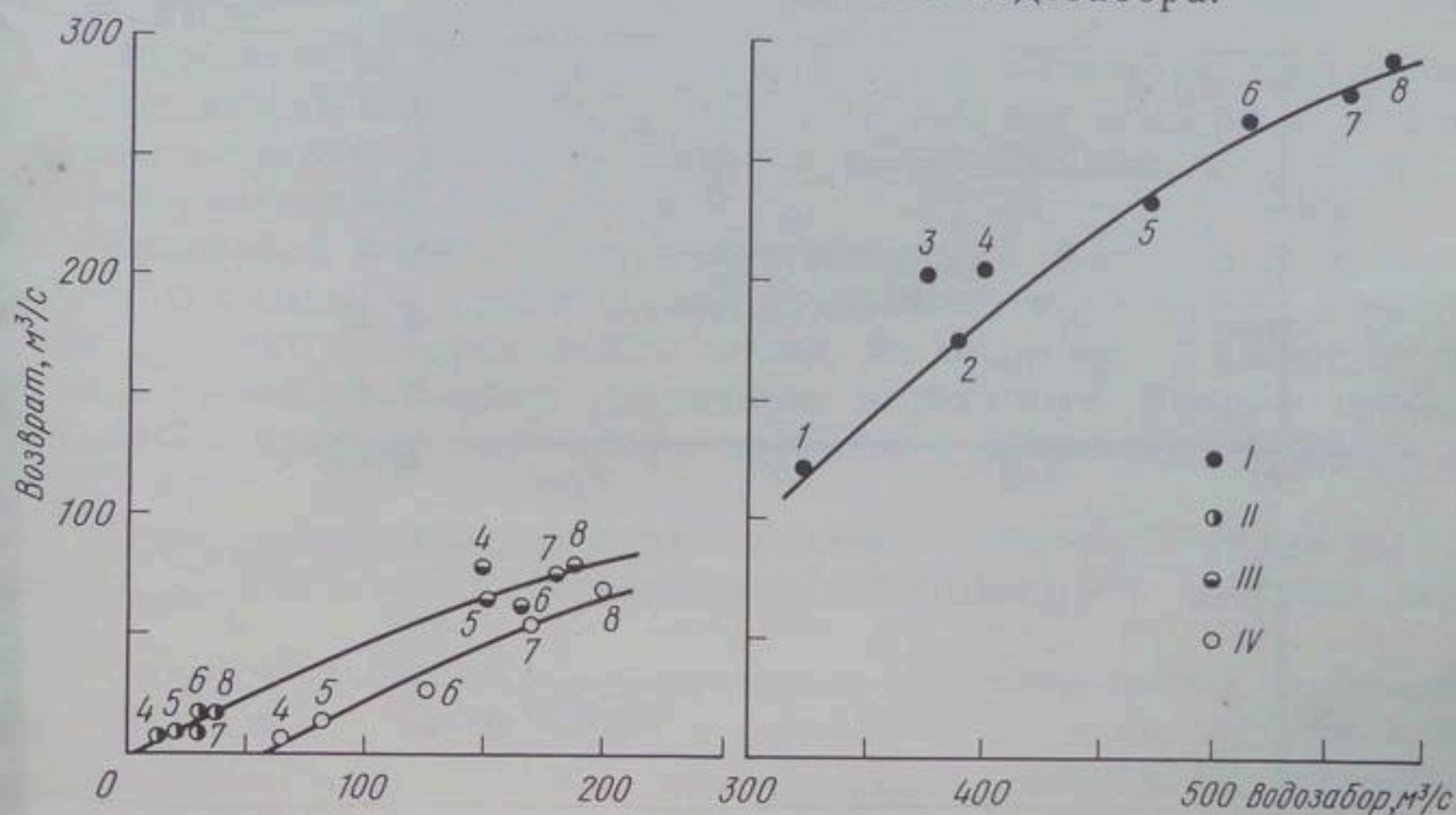


Рис. 4. Годовой сток (осредненный по пятилетиям) возвратных вод за пределы ирригационных районов бассейна р. Сырдарьи в зависимости от водозабора из поверхностных вод:

I — Ферганская долина, II — Дальверзинская степь, III — ЧАКИР, IV — Голодная степь:

1—13 — то же, что и на рис. 3

Однако при повторном использовании возвратных вод (особенно распространенном в маловодные годы) в районах их формирования, а также интенсивной откачке подземных вод этот показатель весьма условен.

Поэтому сток возвратных вод на границе ирригационных районов приведен в абсолютных величинах (табл. 4.1), а водозабор в поверхностных вод использован в качестве индекса их формирования (рис. 4 и 5).

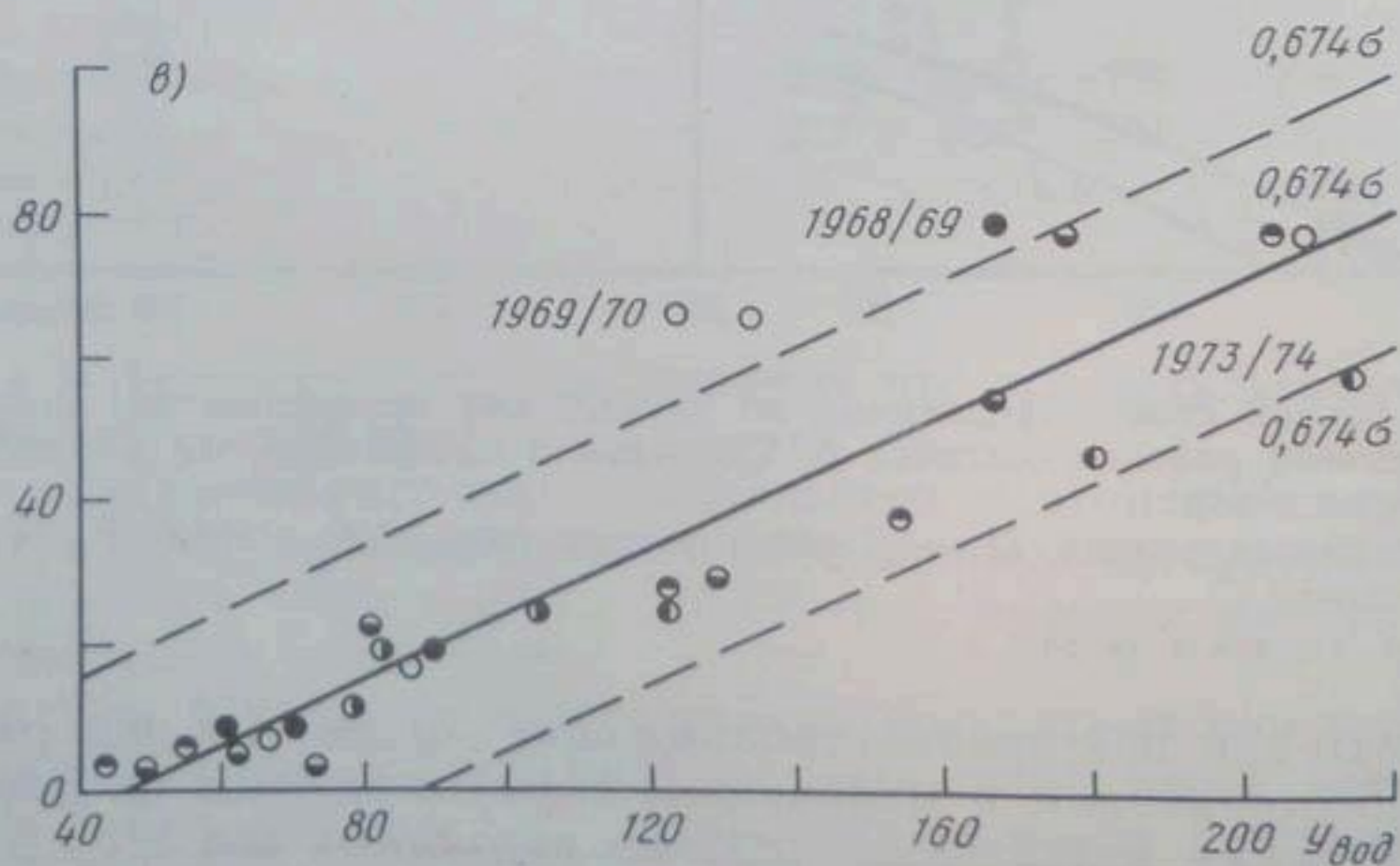
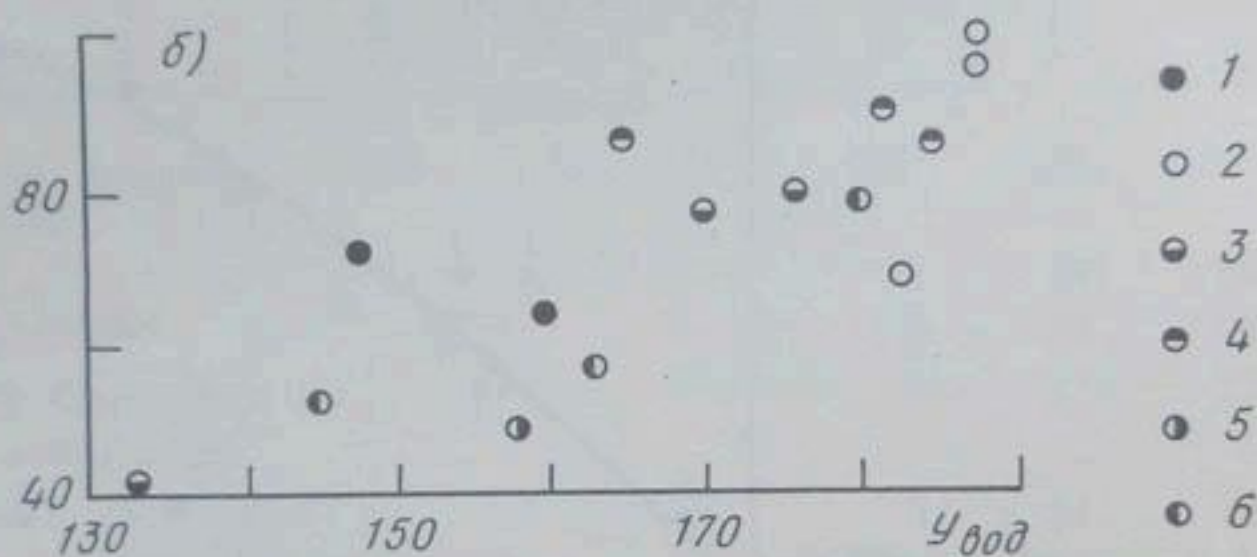
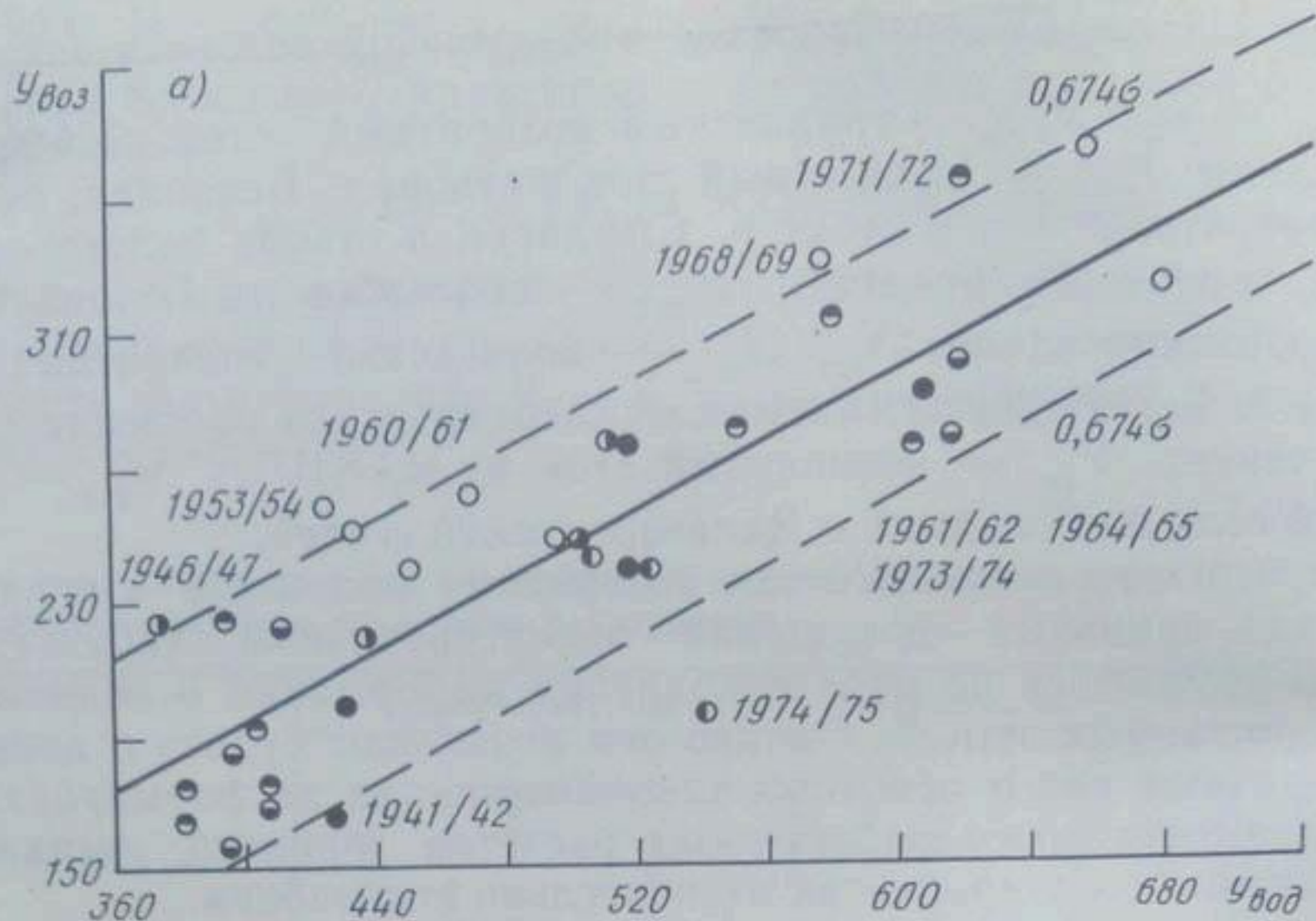


Рис. 5. Годовой сток возвратных вод ($\text{м}^3/\text{с}$) за пределы ирригационных районов в бассейне р. Сырдарьи в зависимости от водозабора из поверхностных вод ($\text{м}^3/\text{с}$): а — Ферганская долина, б — ЧАКИР, в — Голодная степь. Обеспеченность притока:

1 — $P \leq 10\%$, 2 — $10 < P \leq 25\%$, 3 — $25 < P \leq 50\%$, 4 — $50 < P \leq 75\%$, 5 — $75 < P \leq 90\%$, 6 — $P > 90\%$

Об основных закономерностях формирования возвратных вод лучше судить по осредненным (за 5 лет) величинам, позволяющим ослабить влияние второстепенных факторов и уменьшить случайные погрешности расчета (табл. 4.1).

Увеличение стока возвратных вод за пределы ирригационных районов в бассейне р. Сырдарьи связано с крупным водохозяйственным строительством, направленным как на улучшение мелиоративного состояния земель, так и повышение их водообеспеченности (рис. 4).

Интенсивное мелиоративное строительство, осуществленное повсеместно в бассейне р. Сырдарьи в конце 40-х и начале 50-х годов, сказалось в некотором увеличении (особенно в Ферганской долине) стока возвратных вод в эти годы относительно других при аналогичном водозаборе (рис. 4).

За исключением этого периода сток возвратных вод (осредненный по пятилетиям) на границе ирригационных районов тесно связан с водозабором из поверхностных вод в пределах этих районов (рис. 4).

На выходе из Ферганской долины (г. Бекабад) сток возвратных вод во второй половине 60-х годов увеличился в 2,5 раза по сравнению с концом 30-х. Водозабор из поверхностных вод за это же время увеличился в 1,8 раза.

Водозабор в Голодную степь увеличился с начала 50-х до начала 70-х годов в 3 раза, а сток возвратных вод в 11 раз. Увеличение коллекторно-дренажного стока за пределы Дальверзинской степи также превышает увеличение водозабора. Лишь в пределах ЧАКИРа прирост водозабора превышает прирост возвратных вод (рис. 4).

Итак, в большинстве ирригационных районов бассейна р. Сырдарьи прирост стока возвратных вод опережает прирост водозабора.

Следовательно, увеличение стока возвратных вод в бассейне р. Сырдарьи в значительной мере связано с ростом водообеспеченности территории на фоне интенсивного строительства дренажа.

4.2. Изменчивость годового стока возвратных вод

Влияние этих основных факторов в отдельные годы осложняется воздействием других, второстепенных факторов природного и антропогенного характера. Среди них основными, на наш взгляд, являются переменная регулирующая емкость бассейна при чередовании лет различной водности и степень повторного использования возвратных вод в пределах районов их формирования (откачка подземных и коллекторных вод).

Так, в маловодные годы возвратный сток за пределы Голодной степи и особенно ЧАКИРа несколько меньше, чем при соответствующем водозаборе в средние и многоводные годы (рис. 5).

Это связано, вероятно, с усиленным повторным использованием возвратных вод.

В Ферганской долине, где велика роль подземной регулирующей емкости, на величину возвратных вод оказывает влияние соотношение высотного положения грунтовых вод в реке и на окружающей территории. Последнее в известной степени зависит от чередования лет различной водности.

В маловодные годы, следующие за многоводными, в силу превышения уровней грунтовых вод на территории над горизонтами воды в реке происходит сработка запасов грунтовых вод.

В результате в маловодном 1960/61 г. (76%-ной обеспеченности по притоку с гор) возвратный сток за пределы Ферганской долины был выше, чем в предшествующий многоводный год (10%-ной обеспеченности), зато в следующем маловодном 1961/62 г. (88%-ной обеспеченности) он был существенно ниже.

Аналогично в исключительно маловодном (97%-ной обеспеченности) 1973/74 г., следовавшем за многоводным 1972/73 г. (14%-ной обеспеченности), возвратный сток практически не отличался от стока в многоводные и средние годы (при соответствующем водозаборе), а в следующем маловодном (92%-ной обеспеченности) 1974/75 г. был существенно ниже (рис. 5 а).

В многоводные годы, следующие за маловодными, когда горизонты воды в реке устанавливаются выше уровня грунтовых вод на территории бассейна, происходит пополнение запасов грунтовых вод.

В результате сток возвратных вод за пределы ирригационного района ниже, чем при соответствующем водозаборе при более благоприятном чередовании водности лет.

Так, в многоводном 1965/66 г. (8%-ной обеспеченности) следующем за маловодным (91%) 1964/65 г., сток возвратных вод был понижен (рис. 5 а).

Аналогичная картина в этом же году наблюдалась в ЧАКИРе (рис. 5 б).

В условиях хорошо развитого дренажа некоторое влияние на величину возвратных вод оказывает степень увлажненности равнинной территории атмосферными осадками.

Так, в исключительно многоводном 1968/69 г. возвратный сток за пределы Голодной степи оказался значительно выше обычной (при таких водозаборах) величины (рис. 5 в) за счет формирования паводка талых вод по коллекторной сети [105].

Аналогичная картина наблюдалась в Ферганской долине (рис. 5 а).

Изменчивость стока возвратных вод определяется, очевидно, не только перечисленными факторами, а еще многими другими, среди которых не последнее место занимает достоверность оценки возвратных вод по принятой методике расчета.

Для оценки природы (т. е. основных факторов) изменчивости из года в год величин возвратных вод использован метод регрессионного анализа.

Исследовались многофакторные статистические зависимости.

$$Y_{\text{воз}_\Phi} = f(N; Y_{\text{вод}_i}; Y_{\text{вод}_{i-1}}; \alpha_{\text{из}_i} \alpha_{\text{из}_{i-1}} Y_{\text{пруч}}; \Sigma Y_{\text{пр}_i}; \Sigma Y_{\text{пр}_{i-1}};$$

$$Y_{\text{ств}}; \Sigma Y_{\text{бок}}; x_{\text{XI-IV}}; x_{\text{V-X}}; \theta_{\text{XI-IV}}; \theta_{\text{V-X}}; Y_{\text{к/д}};$$

$$Y_{\text{воз}_\Psi} = f(N; Y_{\text{вод}_i}; Y_{\text{вод}_{i-1}}; \alpha_{\text{из}_i}; \alpha_{\text{из}_{i-1}};$$

$$Y_{\text{пр}_i}; Y_{\text{пр}_{i-1}}; x_{\text{XI-IV}}; x_{\text{V-X}}; \theta_{\text{XI-IV}}; \theta_{\text{V-X}}; Y_{\text{к/д}};$$

$$Y_{\text{воз}_\Gamma} = f(N; Y_{\text{вод}_i}; Y_{\text{вод}_{i-1}}; x_{\text{XI-IV}}; x_{\text{V-X}}; \theta_{\text{XI-IV}}; \theta_{\text{V-X}}; H_{\text{угв}}).$$

В этих моделях N — временной индекс, представляющий порядковый номер лет, расположенных по мере их возрастания относительно наперед заданного года; $Y_{\text{вод}_i}$ и $Y_{\text{вод}_{i-1}}$ — суммарный водозабор из поверхностных вод за текущий и предшествующий годы; $\alpha_{\text{из}_i}$ и $\alpha_{\text{из}_{i-1}}$ — коэффициент изъятия стока за текущий и предшествующий годы; $Y_{\text{пруч}}$ — поверхностный приток из области формирования, учтенный гидрометрически; $\Sigma Y_{\text{пр}_i}$ и $\Sigma Y_{\text{пр}_{i-1}}$ — суммарный поверхностный приток из зоны формирования за текущий и предшествующий годы; $Y_{\text{ств}}$ — приток по стволу р. Сырдарьи (Нарын в сумме с Карадарьей); $\Sigma Y_{\text{бок}}$ — суммарный сток боковых притоков р. Сырдарьи в пределах Ферганской долины из зоны формирования; $x_{\text{XI-IV}}$ и $x_{\text{V-X}}$ — атмосферные осадки на поверхность ирригационных районов за вегетационный и предшествующий невегетационный период; $\theta_{\text{XI-IV}}$, $\theta_{\text{V-X}}$ — приход суммарной солнечной радиации за те же периоды; $Y_{\text{к/д}}$ — суммарный сток коллекторно-дренажных вод в р. Сырдарью и ее составляющие; $H_{\text{угв}}$ — средний по площади уровень грунтовых вод; $Y_{\text{воз}_\Phi}$, $Y_{\text{воз}_\Psi}$, $Y_{\text{воз}_\Gamma}$ — возвратный сток за пределы Ферганского, Чирчик-Ахангаран-Келесского и Голодностепского ирригационных районов.

Временной индекс, водозабор текущего и предшествующего годов, степень изъятия стока являются антропогенными факторами стока, довольно тесно скоррелированными друг с другом. Остальные аргументы характеризуют влияние на изменчивость возвратных вод природных факторов.

Статистические зависимости исследовались на двух уровнях водохозяйственного строительства (до 1957 и 1958—1975 гг.) и за весь период.

В каждом случае оценивались две зависимости — нормализованных и ненормализованных величин.

Расхождения в оценках коэффициентов корреляции оказались при этом в пределах ошибок их расчета.

Это позволило принять более простую линейную зависимость.

Анализ корреляционных матриц (из которых одна для примера приведена в табл. 4.2) показывает следующее.

Сток за пределы Ферганского и Голодностепского районов тесно связан с временным индексом ($0,75 \leq r \leq 0,91$). Последний отражает общий уровень водохозяйственного строительства в регионе, что подтверждается высокой его корреляцией с водозабором в каналы (в Голодной степи $r=0,96$), стоком по коллекторам и положением уровня грунтовых вод (в Голодной степи $r=0,997$).

Лишь в колебаниях возвратного стока за пределы ЧАКИР временной тренд ($r=0,41$) не выражен вследствие слабой тенденции его в водохозяйственном строительстве.

Во всех исследуемых ирригационных районах возвратный сток коррелируется с водозабором текущего ($0,91 \geq r \geq 0,81$) и предшествующего годов (r в пределах $0,74-0,93$). Лишь в ЧАКИРе возврат практически не связан с водозабором предшествующего года ($r=0,46$).

Коэффициент изъятия стока, как и следовало ожидать, не оказывает влияния на абсолютную величину возвратных вод.

Из природных факторов практически ни один не связан значимо с возвратным стоком за пределы ирригационного района (табл. 4.2).

Лишь в ЧАКИРе наблюдается тенденция к увеличению стока возвратных вод с ростом атмосферных осадков ($r=0,47$) и уменьшением прихода суммарной солнечной радиации ($r=0,56$) в невегетационный период.

Водность текущего и предшествующего года также не влияет на сток возвратных вод (табл. 4.2). Вероятно, имеет значение именно чередование этих лет, вызывающее изменение соотношения уровня грунтовых вод в реке и в бассейне, сведениями о которых мы не располагаем.

Влияние естественного увлажнения орошаемой территории, тепловых ресурсов года, определяющих испарение, также несоизмеримо мало по сравнению с мощными антропогенными факторами.

Подбор сочетаний предикторов для уравнения регрессии осуществлялся на ЭВМ «Минск-22» по программе В. Г. Коновалова методом «просеивания». Согласно этой программе в уравнение регрессии включалась переменная, вклад которой в сводный коэффициент корреляции больше удвоенной средней квадратической ошибки квадрата сводного коэффициента корреляции [6].

Во всех трех исследуемых ирригационных районах наиболее информативным предиктором оказался водозабор — дисперсия стока возвратных вод на 66—86% определяется последним.

Лишь в ЧАКИРе существенный вклад в уравнение регрессии дал второй предиктор — атмосферные осадки ноября—апреля, характеризующие условия естественного увлажнения территории перед началом вегетационных поливов. В Голодной степи вклад в уравнение регрессии водозабора текущего и предшествующего годов практически равнозначен. Однако водозабор предшествующего года удобнее использовать в практических целях.

Таблица 4.2

Корреляционная матрица годового стока возвратных вод за пределы Ферганской долины и его аргументов, 1940/41—1974/75 гг.

	$Y_{\text{воз}}$	N	$Y_{\text{вод}_i}$	$Y_{\text{вод}_{i-1}}$	$\alpha_{\text{из}_i}$	$\alpha_{\text{из}_{i-1}}$	$Y_{\text{пруч}}$	$Y_{\text{пр}_i}$	$Y_{\text{пр}_{i-1}}$	$Y_{\text{ств}}$	$Y_{\text{бок}}$	$x_{\text{XI-IV}}$	$x_{\text{V-X}}$	$\theta_{\text{XI-IV}}$	$\theta_{\text{V-X}}$	$Y_{\text{к/д}}$
$Y_{\text{воз}}$	1,0	0,753	0,845	0,745	0,353	0,353	0,348	0,345	0,357	0,394	0,204	0,220	0,007	0,143	0,342	0,843
N		1,0	0,893	0,917	0,729	0,691	0,018	0,014	0,157	0,070	-0,133	-0,094	-0,062	0,301	0,305	0,942
$Y_{\text{вод}_i}$			1,0	0,874	0,577	0,630	0,233	0,229	0,167	0,285	0,074	0,044	-0,133	0,229	0,396	0,956
$Y_{\text{вод}_{i-1}}$				1,0	0,734	0,580	-0,008	-0,013	0,308	0,051	-0,178	-0,056	-0,029	0,249	0,358	0,919
$\alpha_{\text{из}_i}$					1,0	0,615	-0,631	-0,634	0,016	-0,586	-0,735	-0,549	-0,331	0,404	0,275	0,585
$\alpha_{\text{из}_{i-1}}$						1,0	-0,110	-0,114	-0,567	-0,087	-0,175	0,005	-0,094	0,209	0,147	0,639
$Y_{\text{пруч}}$							1,0	1,00	0,144	0,996	0,970	0,741	0,344	-0,308	0,027	0,215
$Y_{\text{пр}_i}$								1,0	0,145	0,996	0,972	0,742	0,342	-0,309	0,027	0,210
$Y_{\text{пр}_{i-1}}$									1,0	0,173	0,059	-0,050	0,050	0,002	0,192	0,200
$Y_{\text{ств}}$										1,0	0,946	0,731	0,338	-0,285	0,042	0,270
$Y_{\text{бок}}$											1,0	0,744	0,350	-0,362	-0,017	0,047
$x_{\text{XI-IV}}$												1,0	0,347	-0,469	-0,034	0,087
$x_{\text{V-X}}$													1,0	-0,136	-0,388	0,029
$\theta_{\text{XI-IV}}$														1,0	0,344	0,230
$\theta_{\text{V-X}}$															1,0	0,301
$Y_{\text{к/д}}$																1,0

Таблица 4.3

Уравнения регрессий годового стока возвратных вод в бассейне р. Сырдарьи

Ирригационный район, замыкающий створ	Период, гг	Число лет	Уравнение регрессии	Сводный коэффициент корреляции R	R^2	Средняя квадратическая ошибка $Y_{\text{воз}_i}$ по уравнению, м ³ /с
Ферганская долина, г. Бекабад	1940/41—1974/75	35	$Y_{\text{воз}_i} = 0,504 Y_{\text{вод}_i} - 5,8$	0,845	0,72	28
ЧАКИР, устьевые створы	1957/58—1974/75	16	$Y_{\text{воз}_i} = 0,770 Y_{\text{вод}_i} + 0,012 x_{\text{XI-IV}} - 93,5$	0,908	0,82	6
Голодная степь, устьевые створы коллекторов	1948/49—1974/75	27	$Y_{\text{воз}_i} = 0,467 Y_{\text{вод}_{i-1}} - 21,6$	0,929	0,86	10

Полученные уравнения регрессии приведены в табл. 4.3. Согласно этим уравнениям дисперсия годового стока возвратных вод за пределы исследуемых ирригационных районов на 72—86% определяется изменчивостью принятых аргументов.

В отдельные годы сток возвратных вод отклоняется от линии регрессии на величину, превышающую $0,674\sigma$ (рис. 5). Это может быть связано как с грубыми ошибками оценки возвратных вод, так и с экстремальными условиями их формирования.

Высокий коэффициент корреляции в полученных уравнениях регрессии позволяет рекомендовать их для расчета и прогноза стока возвратных вод в ближайшей перспективе, когда условия их формирования существенно не изменятся.

При этом следует помнить, что уравнения дают лишь наиболее вероятную величину возвратных вод при заданном водозаборе. В экстремально многоводные годы возвратный сток за пределы ирригационных районов может быть повышенным из-за участия части атмосферных осадков в процессе формирования коллекторного стока.

При сочетании двух и более маловодных лет сток возвратных вод может оказаться ниже расчетного.

4.3. Доля возвратных вод в стоке реки

Увеличение изъятия воды из источника орошения и сброса в него возвратных вод приводит к увеличению доли последних в стоке реки.

Доля возвратных вод (не поддающаяся непосредственному измерению) представляет собой отношение количества возвратных вод $U_{\text{воз}}$, проходящих через исследуемый створ к суммарному стоку через него U_0 .

По мере осуществления водохозяйственного строительства и увеличения изъятия стока из реки доля возвратных вод в стоке за пределы ирригационных районов увеличивается (табл. 4.4).

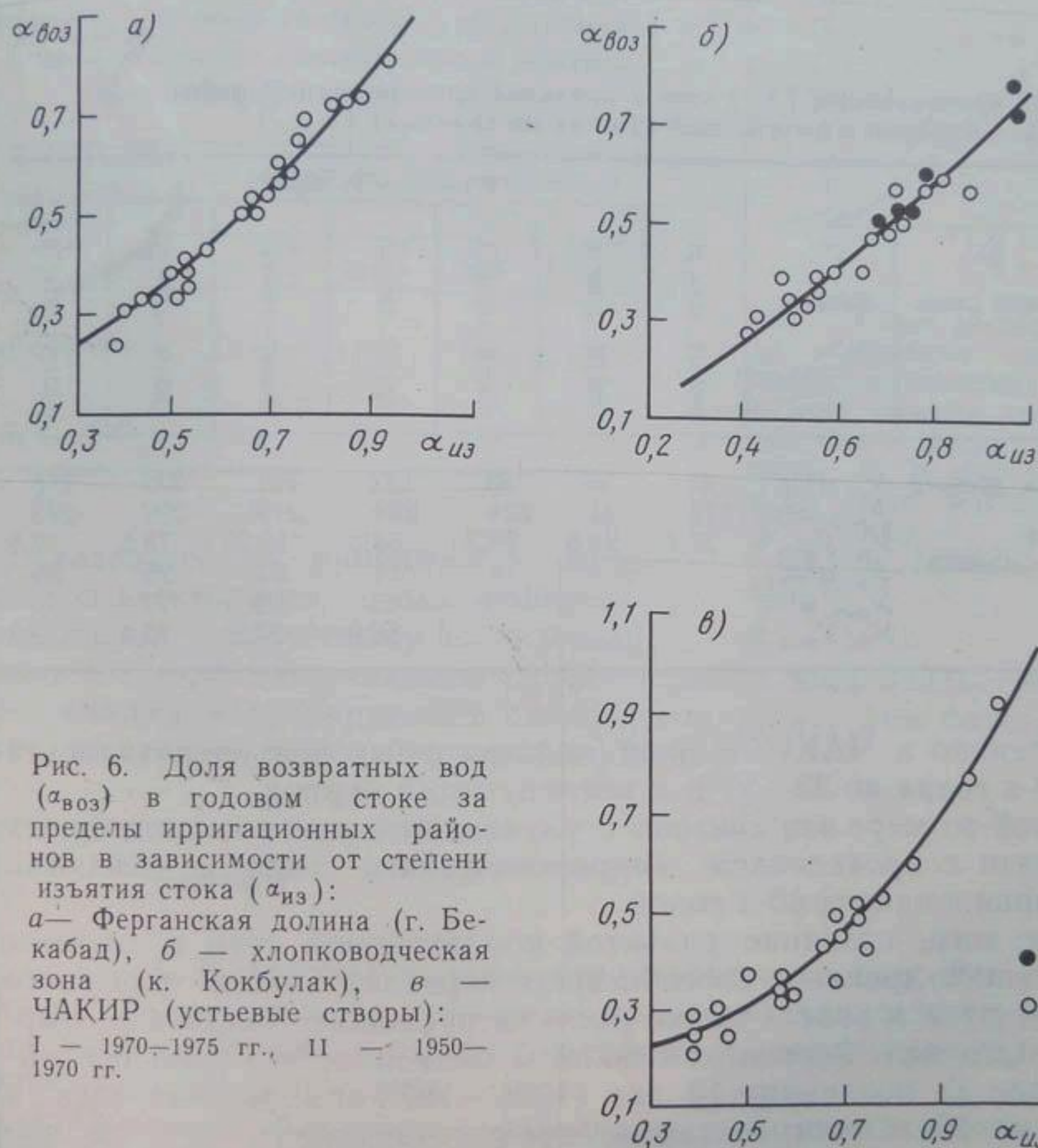
Таблица 4.4

Доля возвратных вод в стоке за пределы ирригационных районов в бассейне р. Сырдарьи, %

Ирригационный район	В среднем за период				
	1950/51—1954/55	1955/56—1959/60	1960/61—1964/65	1965/66—1969/70	1970/71—1974/75
Ферганская долина (г. Бекабад)	32	40	65	52	66
ЧАКИР (сбросы в Сырдарью)	36	31	43	40	63
Хлопководческая зона (к. Кокбулак)	35	37	50	50	64

В начале 70-х годов доля возвратных вод в створе г. Бекабада увеличилась в 1,8 раза относительно конца 40-х годов при практически равном притоке из области формирования.

В первой половине 70-х годов даже в годы повышенной водности (1971—1973) коэффициенты изъятия стока ($\alpha_{из}$) превышали 0,65 (рис. 6).



В связи с этим и доля возвратных вод в стоке р. Сырдарьи в створах Бекабада и Кокбулака превышала 50%, а в ЧАКИРе — 48%.

В исключительно маловодные 1974 и 1975 гг. доля возвратных вод в стоке реки достигала, вероятно, максимальных значений.

Приняв допущение о том, что весь подземный приток из области формирования стока транзитом доходит до русла реки, мы тем самым предполагаем, что $\alpha_{воз}$ стремится к 1, но не равно ей.

4.4. Соотношение возвратных и коллекторных вод

В ирригационных районах, дренируемых рекой, возвратный сток складывается из коллекторных вод и выклинивания в русло реки (табл. 4.5).

В Ферганской долине в 40-х годах коллекторный сток составлял лишь около 25% суммарного возвратного стока на границе ирригационного района. В последующие годы соотношение между этими величинами изменилось в сторону увеличения доли коллекторных вод.

Таблица 4.5

Суммарный коллекторный (U_k) сток в пределах ирригационных районов бассейна р. Сырдарьи и возвратный сток на их границах ($U_{в03}$)

Ирригационный район	Элемент	В среднем за период						
		1940/41—1944/45	1945/46—1949/50	1950/51—1954/55	1955/56—1959/60	1960/61—1964/65	1965/66—1969/70	1970/71—1974/75
Ферганская долина	U_k м ³ /с	41	50	88	127	161	232	218
	$U_{в03}$ м ³ /с	175	201	224	234	219	296	283
ЧАКИР	$U_k/U_{в03}$ %	23,4	24,8	39,3	54,3	59,9	78,5	77,2
	U_k м ³ /с			—	11	23	25	26
	$U_{в03}$ м ³ /с			79	65	62	77	79
	$U_k/U_{в03}$ %				16,9	37,2	32,4	32,9

Аналогично в ЧАКИРе доля коллекторных вод увеличилась с 17% в 50-х годах до 33—37% в последующий период.

В какой-то мере это связано с улучшением учета коллекторных вод в связи с проведением гидрологического года в бассейне р. Сырдарьи в начале 60-х годов.

Кроме того, создание развитой коллекторной сети и системы вертикального дренажа способствуют перехвату части грунтового потока на пути к реке. Однако расчеты руслового баланса р. Сырдарьи в пределах Ферганской долины показали, что русловое выклинивание за последние 10 лет (1966—1975 гг.) уменьшилось в среднем на 25 м³/с относительно предшествующего периода при равном притоке с гор (табл. 4.6), тогда как по данным табл. 4.5 оно должно бы за этот же период уменьшиться на 60 м³/с.

Сопоставление данных руслового баланса (за вычетом транзитного стока боковых притоков) с разностью между возвратным стоком в створе г. Бекабада и суммарным сбросом коллекторных вод в русло р. Сырдарьи и ее составляющих (рис. 7) показало на систематические расхождения в этих величинах. Вторая величина всегда существенно меньше первой и, следовательно, не характеризует дренирующую способность русла.

Гидрографическое строение Ферганской долины таково, что часть коллекторных вод, сброшенных в Сырдарью и ее составляющие, забирается на нижележащих участках и не доходит до замыкающего створа. В последние годы в связи с ростом водозабора и появлением мощных насосных установок в районе Кайраккумского водохранилища этот процесс усилился.

Таблица 4.6

Выклинивание в русло р. Сырдарьи в пределах Ферганской долины (в среднем за пятилетие) в зависимости от поверхностного притока из зоны формирования, $\text{м}^3/\text{с}$

Расчетный период, годы	При притоке из зоны формирования, $\text{м}^3/\text{с}$			
	700	800	900	1000
1950—1965	175	178	184	192
1966—1975	150	153	158	166

Следовательно, приближение величины коллекторного стока в Ферганской долине к расчетному возвратному стоку в створе, замыкающем ее, не является доказательством резкого снижения дренирующей способности русла. Тем более, вероятно, не следует ее сводить к нулю [10, 11].

Выводы

1. Водохозяйственное строительство в бассейне р. Сырдарьи, направленное на улучшение водообеспеченности территории и ее мелиоративного состояния, привело к увеличению стока возвратных вод за ее пределы.

2. Основным фактором, определяющим изменчивость стока возвратных вод от года к году, является величина водозабора в ирригационные системы; влияние водности лет сказывается лишь в годы экстремальной водности.

Полученные уравнения регрессии могут быть использованы для прогноза годового стока возвратных вод на ближайшую перспективу.

3. По мере осуществления водохозяйственного строительства и увеличения изъятия стока из реки доля возвратных вод в оттоке за пределы ирригационных районов увеличивается.

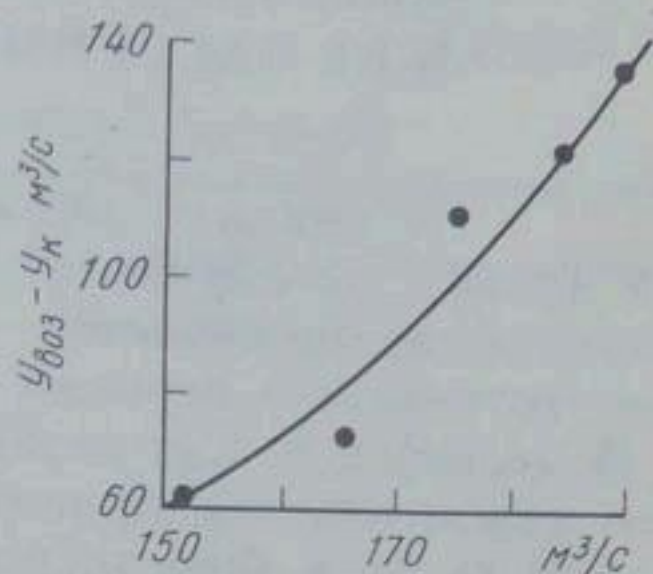


Рис. 7. Связь разности между возвратным стоком в створе г. Бекабада и суммарным сбросом коллекторных вод в русло р. Сырдарьи и ее составляющих и руслового выклинивания, полученного из уравнения руслового баланса; 1950—1975 гг.

ИЗМЕНЕНИЕ КОЛИЧЕСТВА ВОДЫ В СЫРДАРЬЕ ПОД ВЛИЯНИЕМ ВОДНЫХ МЕЛИОРАЦИЙ В ЕЕ БАССЕЙНЕ

В аридных областях, где орошение развито с древнейших времен, убыль стока, связанная с современными водными мелиорациями, оценивается относительно так называемого «условно-естественного» периода.

В бассейне р. Сырдарьи началом интенсивного водохозяйственного строительства принято считать 1940 г. [8, 9, 39, 44—46, 61 и др.], когда в Ферганской долине были сооружены крупнейшие ирригационные каналы. Следовательно, концом «условно-естественного» периода является 1939 г., а начало определяется наличием гидрометрических материалов в исследуемом створе.

В большинстве гидрометрических створов в бассейне р. Сырдарьи наблюдения начаты в 1925 г. Поэтому в качестве «условно-естественного» периода приняты 1925/26—1938/39 гг.

В створе к. Каль наблюдения начаты лишь в 1931 г., а в нижнем течении реки они велись весьма нерегулярно, особенно в невегетационный период.

В связи с этим в самом верхнем створе «условно-естественный» период характеризуется всего восемью годами (табл. 5.1). В нижнем же течении уравнения получены лишь для вегетационного периода (табл. 5.1), так как наблюдения за стоком в невегетационный период практически отсутствовали.

Период интенсивного водохозяйственного развития разбит на два этапа — 1939/40—1957/58 гг. и 1958/59—1974/75 гг. Первый из них характеризуется помимо расширения орошаемых площадей и повышения их водообеспеченности проведением больших мелиоративных работ, а второй — введением в строй крупнейших водохранилищ — Кайраккумского и Чардаринского.

Оценивалось влияние водохозяйственного строительства на изменение стока во времени и по длине реки. При этом трансформация стока в пределах Ферганской долины исследовалась в створе к. Каль, расположенном ниже основных водозаборов из русла р. Сырдарьи и ее составляющих, и в створе г. Бекабада, замыкающем Ферганский ирригационный район.

Изменения стока, происходящие в среднем течении реки, фиксируются в створе к. Кокбулак и в нижнем — на к. Тюменьарык и г. Казалинск.

Изменения стока в период интенсивного его использования оценивались относительно принятого «условно-естественного» периода.

Ниже излагаются результаты оценки изменений стока, полученные из уравнений регрессии, связывающих сток в створе, замыкающем область его использования с притоком из зоны формирования. Этот метод в различных модификациях широко применяется в работах Ю. С. Гуляйко [40], С. И. Харченко [128, 129], И. А. Шикломанова [135, 137, 139—143] и др.

Таблица 5.1

Коэффициент корреляции связи $Y_o = f(Y_n)$ в бассейне р. Сырдарьи

Створ и расчетный период	Число лет n	Ноябрь— октябрь	Май—октябрь	Ноябрь—апрель
к. Каль				
1931/32—1938/39	8	0,977	0,991	0,896
1939/40—1957/58	19	0,942	0,943	0,921
1958/59—1974/75	17	0,963	0,973	0,870
г. Бекабад				
1925/26—1938/39	14	0,990	0,987	0,873
1939/40—1957/58	19	0,969	0,976	0,886
1958/59—1974/75	17	0,985	0,988	0,930
к. Кокбулак				
1924/25—1938/39	14	0,982	0,984	0,854
1939/40—1957/58	19	0,976	0,979	0,868
1958/59—1974/75	17	0,981	0,951	0,945
к. Тюменьарык				
1925/26—1938/39	13	—	0,982	—
1939/40—1957/58	14—18	0,994	0,973	0,995
1958/59—1974/75	16	0,971	0,891	0,963
г. Казалинск				
1925/26—1938/39	14	—	0,856	—
1939/40—1957/58	18	0,997	0,911	0,986
1958/59—1974/75	16	0,980	0,770	0,866
Сбросы ЧАКИРа в Сырдарью				
1925/26—1938/39	14	0,990	0,988	0,967
1939/40—1953/54	15	0,984	0,977	0,393
1954/55—1970/71	16	0,967	0,979	0,160

Примечание. Прочерк показывает, что данных по стоку в невегетационный период нет.

В самом простом варианте он заключается в использовании уравнений регрессии, связывающих отток Y_o в замыкающем створе с притоком из области его формирования Y_n , полученных для периодов с различной степенью использования стока (табл. 5.2). Сопоставление стока через замыкающие створы на разных уровнях водохозяйственного строительства с «условно-естественным» периодом при одинаковом притоке с гор позволяет судить

Уравнения регрессии, связывающие отток за пределы ирригационных районов с притоком из области формирования стока

Створ	Этап	Уравнения за период		
		ноябрь—октябрь	май—октябрь	ноябрь—апрель
Ферганская долина				
к. Каль	I	$Y_o = 0,91 Y_n + 32$	$Y_o = 0,88 Y_n - 18$	$Y_o = 1,12 Y_n + 47$
	II	$Y_o = 1,25 Y_n - 204$	$Y_o = 1,12 Y_n - 297$	$Y_o = 1,62 Y_n - 110$
	III	$Y_o = 1,20 Y_n - 244$	$Y_o = 1,14 Y_n - 409$	$Y_o = 1,45 Y_n - 104$
г. Бекабад	I	$Y_o = 0,97 Y_n - 185$	$Y_o = 0,93 Y_n - 330$	$Y_o = 1,01 Y_n - 21$
	II	$Y_o = 0,94 Y_n - 174$	$Y_o = 0,89 Y_n - 343$	$Y_o = 1,19 Y_n - 56$
	III	$Y_o = 0,97 Y_n - 281$	$Y_o = 0,88 Y_n - 473$	$Y_o = 1,12 Y_n - 40$
ЧАКИР				
Суммарный сброс в Сырдарью	I	$Y_o = 1,14 Y_n - 103$	$Y_o = 1,08 Y_n - 178$	$Y_o = 1,19 Y_n - 12$
	II	$Y_o = 1,17 Y_n - 114$	$Y_o = 1,06 Y_n - 179$	
	III	$Y_o = 1,04 Y_n - 112$	$Y_o = 0,98 Y_n - 202$	
Среднее течение				
к. Кокбулак	I	$Y_o = 0,96 Y_n - 287$	$Y_o = 0,92 Y_n - 512$	$Y_o = 0,97 Y_n - 3$
	II	$Y_o = 0,96 Y_n - 311$	$Y_o = 0,91 Y_n - 622$	$Y_o = 1,02 Y_n + 32$
	III	$Y_o = 0,55 Y_n - 18$	$Y_o = 0,83 Y_n - 746$	$Y_o = 1,32 Y_n - 152$
Нижнее течение				
к. Тюменьарык	I		$Y_o = 0,80 Y_n - 399$	
	II	$Y_o = 0,62 Y_n - 10$	$Y_o = 0,91 Y_n - 734$	$Y_o = 0,98 Y_n + 4$
	III	$Y_o = 0,45 Y_n - 74$	$Y_o = 0,75 Y_n - 714$	$Y_o = 1,03 Y_n - 54$
г. Казалинск	I		$Y_o = 0,30 Y_n + 84$	
	II	$Y_o = 0,43 Y_n + 1$	$Y_o = 0,51 Y_n - 306$	$Y_o = 0,69 Y_n + 10$
	III	$Y_o = 0,30 Y_n - 35$	$Y_o = 0,51 Y_n - 554$	$Y_o = 0,67 Y_n + 6$

об изменении стока под влиянием антропогенных факторов в среднем за расчетный период.

Одновременно убыль стока оценивалась по методике, разработанной И. А. Шикломановым [135, 140, 141, 143], согласно которой $\Delta Y = Y_{\text{расч}} - Y_{\text{факт}}$, где ΔY — изменение стока в исследуемом створе под влиянием антропогенных факторов; $Y_{\text{расч}}$ — сток, восстановленный по связи $Y_o = f(Y_n)$, полученной для «условно-естественного» периода; $Y_{\text{факт}}$ — фактический сток в исследуемом створе.

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

Оценки изменения стока по двум вариантам оказались идентичными.

В обеих методиках в качестве аргумента использован приток из области формирования стока, информативность которого достаточно велика на всех уровнях водохозяйственного развития (табл. 5.1).

В годовом разрезе 89—99% информации об изменчивости стока через замыкающие створы содержит приток из области формирования.

В вегетационный период информативность этого аргумента остается высокой, а в невегетационный несколько снижается (табл. 5.1), что связано, вероятно, с увеличением доли подземного питания.

Невегетационный сток в ЧАКИРе в период интенсивного водохозяйственного строительства не зависит от притока из области формирования (табл. 5.1).

В тех случаях, когда значения парных коэффициентов корреляции между притоком из области формирования и стоком через створы, замыкающие зону использования стока, достаточно высоки ($R > 0,7$), получены уравнения регрессии $Y_o = f(Y_n)$ (табл. 5.2).

Эти уравнения использованы для оценки убыли стока под влиянием антропогенных факторов на разных уровнях развития водного хозяйства относительно «условно-естественного» периода.

5.1. Изменение стока р. Сырдарьи в вегетационный период

Естественно, что наиболее ощутимо хозяйственная деятельность сказывается на речном стоке в вегетационный период, когда из реки изымается значительная его часть. Уже на первом этапе водохозяйственного строительства вегетационный сток в створе к. Каль уменьшился относительно «условно-естественного» периода на 77—78 м³/с (табл. 5.3) при увеличении водозабора выше створа на 137 м³/с. Водозабор из Нарына и Карадарьи вырос в среднем с 24% стока, зарегистрированного в створах Учкурган и Кампыррават до 41%, а сток в Кале уменьшился на 11%.

Убыль вегетационного стока в бассейне р. Сырдарьи относительно «условно-естественного» периода (1925/26—1938/39 гг.), м³/с

Ирригационный район, закрывающий створ	Расчетный период, гг.	По уравнениям регрессии $Y_0=f(Y_{II})$ в среднем за расчетный период при притоке из области формирования, обеспеченном на						Среднее за период по методу И. А. Шикло- манова
		10%	25%	50%	75%	95%	в среднем за период	
Ферганская долина, к. Каль	1939/40—1957/58	$\frac{-19}{-2,0}$	$\frac{-43}{-5,1}$	$\frac{-83}{-13,4}$	$\frac{-113}{-19,0}$	$\frac{-145}{-30,5}$	$\frac{-77}{-10,6}$	$\frac{-78}{-}$
	1958/59—1974/75	$\frac{-111}{-11,9}$	$\frac{-136}{-16,0}$	$\frac{-179}{-25,4}$	$\frac{-211}{-35,5}$	$\frac{-246}{-51,8}$	$\frac{-166}{-23,9}$	$\frac{-164}{(-176)**}$
г. Бекабад	1939/40—1957/58	$\frac{-74}{-7,3}$	$\frac{-73}{-7,4}$	$\frac{-63}{-8,2}$	$\frac{-53}{-9,4}$	$\frac{-49}{-10,9}$	$\frac{-65}{-8,0}$	$\frac{-70}{-}$
	1958/59—1974/75	$\frac{-218}{-21,6}$	$\frac{-217}{-22,1}$	$\frac{-205}{-26,6}$	$\frac{-193}{-34,4}$	$\frac{-187}{-41,6}$	$\frac{-208}{-25,7}$	$\frac{-205}{-199**}$
ЧАКИР, сброс в Сырдарью	1939/40—1953/54	$\frac{-16}{-4}$	$\frac{-14}{-4}$	$\frac{-11}{-4}$	$\frac{-10}{-6}$	$\frac{-8}{-9}$	$\frac{-12}{-5}$	$\frac{-12}{-19*}$
	1954/55—1974/75	$\frac{-82}{-21}$	$\frac{-74}{-23}$	$\frac{-67}{-27}$	$\frac{-59}{-35}$	$\frac{-50}{-61}$	$\frac{-67}{-28}$	$\frac{-66}{-}$

Ирригационный район, замыкающий створ	Расчетный период, гг.	По уравнениям регрессии $Y_o = f(Y_n)$ в среднем за расчетный период при притоке из области формирования, обеспеченном на						Среднее за период по методу И. А. Шикло- манова
		10%	25%	50%	75%	95%	в среднем за период	
Среднее течение, к. Кокбулак	1939/40—1957/58	$\frac{-126}{-9,5}$	$\frac{-127}{-10,6}$	$\frac{-125}{-13,0}$	$\frac{-121}{-17,9}$	$\frac{-119}{-26,1}$	$\frac{-125}{-13,2}$	$\frac{-125}{-}$
	1958/59—1974/75	$\frac{-421}{-31,7}$	$\frac{-408}{-34,2}$	$\frac{-384}{-40,0}$	$\frac{-355}{-52,4}$	$\frac{-333}{-73,0}$	$\frac{-383}{-40,3}$	$\frac{-378}{-}$
Нижнее течение, к. Тюменьарык	1938/39—1957/58	$\frac{-94}{-7,5}$	$\frac{-117}{-10,6}$	$\frac{-146}{-16,2}$	$\frac{-180}{-27,2}$	$\frac{-203}{-39,7}$	$\frac{-146}{-16,2}$	$\frac{-146}{-}$
	1958/59—1974/75	$\frac{-409}{-32,4}$	$\frac{-399}{-36,2}$	$\frac{-389}{-43,1}$	$\frac{-375}{-56,6}$	$\frac{-367}{-71,8}$	$\frac{-390}{-43,2}$	$\frac{-390}{-}$
г. Казалинск	1939/40—1957/58	$\frac{+41}{+5,7}$	$\frac{-1}{-0,2}$	$\frac{-53}{-9,2}$	$\frac{-115}{-23,6}$	$\frac{-154}{-35,9}$	$\frac{-54}{-9,4}$	$\frac{-53}{-}$
	1958/59—1974/75	$\frac{-208}{-29,1}$	$\frac{-249}{-38,1}$	$\frac{-302}{-52,2}$	$\frac{-364}{-74,7}$	$\frac{-403}{-93,9}$	$\frac{-294}{-49,8}$	$\frac{-294}{-}$

Примечание. В числителе приведены абсолютные величины изменения стока (убыль — «—», увеличение — «+») в среднем за расчетный период относительно «условно-естественного» уровня; в знаменателе — то же (%) относительно оттока в «условно-естественный» период; * — убыль стока в среднем за 1939/40—1957/58 гг. ** — убыль стока оценивалась без учета 1969 г.

Если в «условно-естественный» период до створа к. Каль расходилось в зависимости от водности лет 14—15% стока из области формирования, то на первом этапе водохозяйственного строительства затраты поверхностных водных ресурсов возросли до 16—41% (табл. 5.4).

В створе г. Бекабада сток в среднем за исследуемый период сократился относительно исходного уровня на 65—70 м³/с (8%), при увеличении водозабора выше створа на 167 м³/с (с 35 до 50% учтенного поверхностного притока).

Затраты поверхностных водных ресурсов до этого створа возросли на 30—48% до 35—52% (табл. 5.4).

В ЧАКИРе на первом этапе водохозяйственного строительства вегетационный сток в р. Сырдарью уменьшился в среднем на 19 м³/с, что превышает 5% оттока в «условно-естественный» период (табл. 5.3).

Всего по верхней зоне (Ферганская долина и ЧАКИР) вегетационный сток на этом этапе уменьшился относительно исходного уровня на 84—89 м³/с.

В среднем течении реки уменьшение стока связано с орошением Голодной и Дальверзинской степей, водозабор в которые увеличился в среднем на 61 м³/с. В створе к. Кокбулак, замыкающем среднее течение реки, сток сократился относительно «условно-естественного» периода на 125 м³/с (13%) (табл. 5.3), а затраты водных ресурсов увеличились с 34—57% до 40—68% (табл. 5.4). В нижнем течении реки сток также уменьшился относительно принятого исходного уровня — в створе Тюменьарыка на 146 м³/с (16%), а в створе Казалинска — на 53 м³/с (9%).

Если в «условно-естественный» период до Тюменьарыка доходило 45—60%, а до Казалинска 34—38% стока, сформированного в горах, то на этом этапе водохозяйственного строительства — соответственно 27—56 и 24—36%.

Итак, уже на первом этапе водохозяйственного строительства вегетационный сток уменьшился относительно принятого исходного уровня по всей длине р. Сырдарьи. Интенсивность уменьшения стока неодинакова в разных частях бассейна.

В верхнем створе (к. Каль), расположенном ниже основных водозаборов из реки в пределах Ферганской долины, убыль стока на этом этапе несколько больше, чем в нижнем замыкающем (г. Бекабад) (табл. 5.3). Прежде всего, это может быть связано с перераспределением стока по длине реки. Сток, забранный в ирригационные каналы выше к. Каль, частично возвращается в русло реки на нижележащем участке. Этому способствует повышенная дренирующая способность реки, возрастающая по мере изъятия стока из нее.

Помимо этого, в Ферганской долине в 50-е годы действовали другие компенсационные факторы, несколько уменьшившие убыль стока, связанную с увеличением водозабора выше к. Каль. Это отвод коллекторных вод с мелиорируемых территорий и остатков вод боковых притоков в русло р. Сырдарьи, сокращение площадей

дикой влаголюбивой растительности, уменьшение паводковых разливов в пойме, связанных с увеличением изъятия стока в верхнем течении и т. д.

Этими же причинами, вероятно, обусловлено сравнительно не-
большое на этом этапе уменьшение стока в ЧАКИРе (табл. 5.3).

Ниже по течению р. Сырдарьи в створах Кокбулак и Тюмень-
арык наблюдалось некоторое нарастание убыли стока (табл. 5.3),
более существенное в первом из них. Убыль же стока в нижнем,
замыкающем бассейне р. Сырдарьи створе существенно ниже, чем
в Тюменьарыке (табл. 5.3).

Вероятно, увеличение водозабора в верхнем течении реки вы-
звало уменьшение разливов в половодье на участке Тюменьарык—
Казалинск. Это, в свою очередь, способствовало сокращению по-
терь стока на испарение в пойме реки. В результате затраты сто-
ка, связанные с развитием орошения в верхнем и среднем течении
реки, частично компенсировались сокращением потерь речной во-
ды на разливы в пойме нижнего течения.

Уменьшение стока по длине реки Сырдарьи на этом этапе водо-
хозяйственного строительства иллюстрирует табл. 5.4.

Таблица 5.4

Сток р. Сырдарьи (%) от притока из области формирования
(гидрометрически учтенного притока)

Створ	Расчетный период, гг.	Вегетационный сток при обеспеченности притока, %					Невегетационный сток при обеспеченности притока, %				
		10	25	50	75	95	10	25	50	75	95
к. Каль	1931/32—1938/39	86	86	86	85	85	126	127	129	131	136
	1939/40—1957/58	84	82	76	69	59	129	127	122	118	107
	1958/59—1974/75	76	72	64	55	41	114	112	107	104	93
г. Бекабад	1925/26—1938/39	70	70	65	59	54	97	97	96	96	95
	1939/40—1957/58	65	65	60	53	48	108	106	105	103	101
	1958/59—1974/75	55	54	48	38	31	104	103	102	101	100
к. Кокбулак	1924/25—1938/39	66	64	60	52	43	97	97	96	96	96
	1939/40—1957/58	60	58	52	43	32	107	108	108	109	110
	1958/59—1974/75	45	42	36	25	12	112	107	105	100	96
к. Тюменьарык	1925/26—1938/39	60	58	55	46	45					
	1939/40—1957/58	56	52	46	36	27	98	99	99	99	100
	1958/59—1974/75	41	37	32	22	13	99	98	96	95	84
г. Казалинск	1925/26—1938/39	34	35	36	37	38					
	1939/40—1957/58	36	35	32	28	24	70	70	70	71	73
	1958/59—1974/75	24	21	17	9	2	68	68	68	68	69
Устьевые ство- ры ЧАКИРа	1925/26—1938/39	75	70	63	53	34					
	1939/40—1953/54	72	66	60	50	31					
	1954/55—1970/71	59	53	46	34	13					

В годы средней водности через створ г. Бекабада проходило
60% водных ресурсов, поступивших из области формирования сто-
ка. В Кокбулаке сток составлял 52, в Тюменьарыке — 46 и в Ка-
залинске — лишь 32% стока, поступившего из зоны формирования.

В маловодные годы сток истощался по длине реки еще более
существенно (табл. 5.4).

На следующем этапе водохозяйственного строительства сток р. Сырдарьи уменьшался более интенсивно. Если исключить из расчетов аномально-многоводный 1969 г., характеризующийся формированием талых паводков ниже опорных гидростов, то в среднем за период убыль стока в пределах Ферганской долины составила в верхнем створе $165 \text{ м}^3/\text{с}$ (24%), а в нижнем $208 \text{ м}^3/\text{с}$ (26%) при увеличении водозабора соответственно на 240 и $320 \text{ м}^3/\text{с}$.

На этом уровне ведения хозяйства сток в Кале составлял в зависимости от водности лет от 41 до 76% ресурсов Нарына и Калардарьи, что на 8—18% меньше, чем в предшествующий период (табл. 5.4). Истощение водных ресурсов к Бекабаду было еще более существенным — от 45 до 69% учтенного поверхностного притока с гор, что на 10—17% больше, чем в предыдущий период (табл. 5.4).

В ЧАКИРе, так же как в Ферганской долине, на втором этапе вегетационный сток уменьшался более интенсивно по сравнению с первым (табл. 5.3) — в среднем (без экстремального 1969 г.) на $67 \text{ м}^3/\text{с}$.

В пределах всей верхней зоны сток на втором этапе водохозяйственного строительства уменьшился относительно принятого исходного уровня на $275 \text{ м}^3/\text{с}$, т. е. в три с лишним раза больше, чем на первом этапе.

Убыль стока на выходе из хлопководческой зоны (Кокбулак) составила в среднем $378—383 \text{ м}^3/\text{с}$ (40%) по сравнению с исходным уровнем, что на $258—253 \text{ м}^3/\text{с}$ больше относительно предыдущего периода. При этом убыль стока в среднем течении реки (т. е. за вычетом верхней зоны) равна $103—108 \text{ м}^3/\text{с}$, что более чем вдвое превышает уменьшение стока на первом этапе.

На втором этапе водохозяйственного строительства сток в Кокбулаке составил 12—45% притока из области формирования, что на 15—20% меньше по сравнению с предшествующим периодом.

В створе Тюменьарыка сток уменьшился в среднем за период относительно исходного уровня на $390 \text{ м}^3/\text{с}$ (43%) и на $244 \text{ м}^3/\text{с}$ относительно предшествующего периода.

В нижнем, замыкающем бассейн р. Сырдарьи, створе г. Казалинска сток сократился на $294 \text{ м}^3/\text{с}$ относительно «условно-естественного» периода и на $240 \text{ м}^3/\text{с}$ по сравнению с предшествующим периодом. Как и на первом этапе водохозяйственного строительства, наиболее интенсивно вегетационный сток р. Сырдарьи уменьшился в верхнем и среднем течении реки. В Бекабаде, в отличие от предыдущего периода, убыль стока больше, чем в Кале (табл. 5.3). Это связано как с увеличением водозабора из русла р. Сырдарьи в 50-е годы в пределах Ферганской долины, так и с значительным истощением компенсационных факторов. До створа Кокбулака интенсивность убыли стока нарастала, а затем резко уменьшилась.

В Казалинске, как и на предшествующем этапе, убыль стока относительно «условно-естественного» периода была меньше, чем в Тюменьарыке. В условиях развивающегося орошения (водозабо

в нижнем течении р. Сырдарьи на втором этапе водохозяйственного строительства удвоился по сравнению с первым) это может быть связано с двумя обстоятельствами. Во-первых, возможно некоторое перераспределение стока по длине реки. Сток, забранный на орошение в среднем течении, частично возвращается в русло в нижнем.

Однако скорее всего это связано с компенсацией возросших затрат на орошение в верхнем и среднем течении реки уменьшением потерь на испарение в пойме в период разливов.

Относительно среднего значения за «условно-естественный» период сток реки в этот период сократился в исследуемых створах соответственно на 24, 26, 40, 43 и 50% (табл. 5.3).

Следовательно, если абсолютная убыль стока максимальна в верхнем и среднем течении, то относительная, естественно, — в нижнем (табл. 5.3).

В год средней водности в среднее течение (г. Бекабад) поступало (в среднем за 1959—1975 гг.) 48% стока, сформированного в горах, в нижнее течение (к. Кокбулак) — 36%, а за пределы орошаемой зоны (г. Казалинск) — лишь 17% (табл. 5.4).

В годы крайне маловодные (обеспеченностью 95%) сток Сырдарьи в Бекабаде составлял 31% притока с гор, в Кокбулаке — 12%, а в Казалинске — 2%.

На каждом уровне водохозяйственного строительства убыль стока, связанная с антропогенным воздействием, в некоторой мере зависит от притока из области формирования.

В створах кишлаков Каль, Тюменьарык и г. Казалинск абсолютная убыль стока в среднем возрастает от многоводных лет к маловодным (табл. 5.3). Аналогичное явление отмечено в работах [135, 140—145] для рек Кубани, Куры и Волги.

В пределах Ферганской долины и ЧАКИРа бассейн р. Сырдарьи обладает огромной регулирующей емкостью. В результате в Бекабаде, Кокбулаке и на реках ЧАКИРа наблюдается обратная картина — убыль стока увеличивается от маловодных лет к многоводным (табл. 5.3).

В маловодные годы изъятие стока способствует поддержанию в реке низких горизонтов воды и, следовательно, дренированию территории, гидравлически связанной с рекой. Приток грунтовых вод с территории бассейна в какой-то мере компенсирует затраты стока на орошение.

В многоводные годы приток этот затруднен вследствие подпора грунтовых вод высокими горизонтами воды в реке.

Работа В. А. Гейнца [28], в которой установлена тесная взаимосвязь водности реки и режима грунтовых вод ее бассейна, подтверждает полученные выводы. Согласно этим исследованиям при водности реки выше средней происходит питание грунтовых вод, а при водности ниже средней — сработка.

После маловодных лет, в течение которых грунтовые воды срабатывались, в год с водностью, близкой к средней (и даже ниже), происходит аккумуляция речного стока в подземном бассейне.

Уравнения, связывающие убыль вегетационного стока р. Сырдарьи за 1958/59—1974/75 гг. относительно «условно-естественного» периода с определяющими ее факторами

Створ	Абсолютная убыль, м ³ /с			Относительная убыль, %		
	R	$\frac{S}{\sigma}$	Уравнение	R	$\frac{S}{\sigma}$	Уравнение
к. Каль	0,761	0,648	$\Delta Y_i = 244K_i - 405$	0,936	0,352	$\Delta Y/Y = 53K_i - 79$
г. Бекабад	-0,626	0,780	$\Delta Y_i = -0,33 Y_{\text{вод}_i} + 60$	0,884	0,468	$\Delta Y/Y = 28K_i - 56$
к. Кокбулак	-0,839	0,544	$\Delta Y_i = -0,57 Y_{\text{вод}_i} + 227$	0,774	0,634	$\Delta Y/Y = 47K_i - 90$
к. Тюменьарык	-0,721	0,693	$\Delta Y_i = -0,45 Y_{\text{вод}_i} + 148$	0,728	0,686	$\Delta Y/Y = 51K_i - 95$
г. Казалинск	0,674	0,739	$\Delta Y_i = 349K_i - 642$	0,814	0,581	$\Delta Y/Y = 82K_i - 136$
ЧАКИР, сброс в Сырдарью	-0,643	0,765	$\Delta Y_i = -50K_i - 18$	0,719	0,695	$\Delta Y/Y = 40K_i - 71$

Примечание. Здесь и в табл. 5.8 ΔY — убыль стока, м³/с; $\Delta Y/Y$ — убыль стока относительно стока в «условно-естественный» период; K_i — приток из области формирования в модульных коэффициентах; K_{i-1} — то же в предшествующий год; $Y_{\text{вод}}$ — суммарный водозабор из реки выше исследуемого створа.

Однако влияние водности смежных лет на колебание убыли речного стока в зоне его интенсивного использования, проявляющееся в основном в экстремальные по водности годы, неизмеримо мало по сравнению с воздействием других факторов, из которых не последнее место занимает, вероятно, точность учета стока.

Коэффициенты корреляции убыли вегетационного стока конкретных лет в период 1958/59—1974/75 гг. (ΔY_i) с водностью предшествующих (K_{i-1}) находятся в пределах 0,08—0,18.

В створах кишл. Каль и г. Казалинска в колебаниях убыли стока (ΔY_i) наблюдается обратная связь с водностью текущего года (K_i); коэффициенты парной корреляции равны соответственно 0,76 и 0,67.

В створах г. Бекабада, кишлаков Кокбулак и Тюменьарык возрастает роль изъятия стока из реки. Парные коэффициенты корреляции между убылью стока (ΔY_i) и водозаборами из реки ($Y_{\text{вод}i}$) равны для этих створов соответственно 0,63; 0,84 и 0,72.

Относительная убыль стока, т. е. убыль, выраженная в процентах относительно стока в исследуемом створе в «условно-естественный» период, на втором этапе водохозяйственного строительства хорошо коррелируется с водностью года (r в пределах 0,77—0,94). С увеличением притока с гор относительная убыль стока во всех створах уменьшается (табл. 5.6).

Таблица 5.6

Относительная убыль вегетационного стока (% от стока в «условно-естественный» период) в бассейне р. Сырдарьи в годы разной водности

Река, створ	Убыль стока при притоке из области формирования (в модульных коэффициентах)			
	1,25	1,0	0,75	0,50
р. Сырдарья, к. Каль	—13	—27	—39	—53
» г. Бекабад	—21	—28	—35	—42
» к. Кокбулак	—31	—43	—55	—66
» к. Тюменьарык	—31	—44	—57	—70
» г. Казалинск	—34	—54	—74	—95
ЧАКИР, сбросы в Сырдарью	—21	—31	—41	—51

Уравнения регрессии убыли вегетационного стока конкретных лет от определяющих ее факторов, полученные методами просеивания, приведены в табл. 5.5.

Согласно критериям надежности прогностических уравнений, принятым в службе гидрологических прогнозов, полученные уравнения являются удовлетворительными, и в ряде случаев — хорошими. Следовательно, они могут использоваться для оценки и прогноза (в первом приближении) убыли стока в исследуемых створах под влиянием антропогенных факторов.

Естественно, наибольшая относительная убыль стока наблюдается в маловодные годы. При модульном коэффициенте 0,5 (около 97% обеспеченности притока с гор) сток р. Сырдарьи в створе к. Каль на втором этапе водохозяйственного строительства уменьшился в половину по сравнению со стоком в «условно-естественный» период. Убыль стока нарастает по длине реки и в створе г. Казалинска сток в такие годы практически отсутствует (табл. 5.6).

5.2. Изменение стока р. Сырдарьи в невегетационный период

Влияние хозяйственной деятельности сказывается на изменении невегетационного стока р. Сырдарьи в разных частях ее бассейна неоднозначно.

В верхнем створе (к. Каль) сток на первом этапе водохозяйственного строительства уменьшился относительно «условно-естественного» периода на $15 \text{ м}^3/\text{с}$ ($\approx 4\%$). В это же время отток из ЧАКИРа сохранился на исходном уровне, а сток р. Сырдарьи за пределы Ферганской долины (г. Бекабад) и всей хлопководческой зоны (к. Кокбулак) увеличился (табл. 5.7).

Относительно притока из области формирования сток в эту фазу в Кале уменьшился в год средней водности с 129 до 122% (табл. 5.4), а в нижележащих створах увеличился — в Бекабаде с 96% до 105%, а в Кокбулаке с 96% до 108%. Следовательно, на этом этапе водохозяйственного строительства убыль невегетационного стока в верхнем створе, расположенном ниже основных водозаборных узлов в пределах Ферганской долины, сопровождалась перераспределением его во времени и по длине реки. Вода, забранная из реки, ее составляющих и боковых притоков в ирригационные системы в вегетационный период возвращалась в невегетационный и ниже по течению.

На следующем этапе водохозяйственного строительства сток невегетационного периода уменьшился относительно предшествующего во всех створах (табл. 5.7). Наиболее ощутимой убыль стока была в верхнем и нижнем течении реки.

Относительно «условно-естественного» периода сток в Кале уменьшился на $53 \text{ м}^3/\text{с}$, а в Бекабаде и Кокбулаке увеличился, но существенно меньше, чем на первом этапе (табл. 5.7).

Следовательно, роль компенсационных факторов, столь интенсивная на первом этапе, в этот период несколько уменьшилась.

В год средней водности сток из хлопководческой зоны превышал приток с гор на 5% (против 8% на первом этапе). В Тюменъ-арыке в тех же условиях проходило 96%, а в Казалинске 68% притока из области формирования (табл. 5.4).

Таким образом, на втором этапе водохозяйственного строительства сток невегетационного периода несколько уменьшился по сравнению с предшествующим. Вместе с тем имело место перераспределение его по длине реки и во времени.

Изменение невегетационного стока р. Сырдарьи относительно «условно-естественного периода», $\frac{м^3/с}{\%}$

Ирригационный р-н, замыкающий створ	Расчетный период, гг.	По уравнениям регрессии $Y_o=f(Y_n)$ в среднем за расчетный период при притоке из области формирования, обеспеченным на %						Среднее за период по методу И. А. Шикло- манова
		10	25	50	75	95	в среднем за период	
Ферганская долина, к. Каль	1939/40—1957/58	9 2,1	3 0,8	—19 —5,3	—32 —9,8	—57 —21,0	—15 —4,1	—14
	1958/59—1974/75	—41 —9,8	—43 —11,0	—59 —16,6	—68 —20,8	—85 —31,4	—53 —14,0	—53 (58)**
г. Бекабад	1939/40—1957/58	51 10,7	44 10,2	36 9,2	28 8,1	21 7,0	40 10,0	42
	1958/59—1974/75	34 7,1	29 6,7	24 6,2	20 5,8	16 5,4	26 6,4	27 22**
Среднее течение, к. Кокбулак	1939/40—1957/58	75 10,4	67 11,4	65 12,0	60 13,0	58 14,4	65 12,0	65
	1958/59—1974/75	112 15,4	62 10,2	46 8,5	17 3,7	—3 —0,7	37** 7,2	38**
Нижнее течение*, к. Тюменьарык	1958/59—1974/75	—2 —0,3	—9 —1,4	—15 —2,7	—21 —4,4	—39 —15,9	—23 —5,1	—23
г. Казалинск	1958/59—1974/75	—17 —3,3	—16 —3,6	—14 —3,5	—13 —3,8	—8 —4,5	—12 —3,8	—11

Примечание. * — без 1969 г.; ** — в табл. 5.8 убыль стока в нижнем течении реки показана относительно средней за 1939/40—1957/58 гг.; числитель — абсолютное изменение стока, $м^3/с$; знаменатель — относительное изменение стока относительно стока в «условно-естественный» период (%).

Уравнения, связывающие изменение невегетационного стока р. Сырдарьи в 1958/59—1974/75 гг. относительно «условно-естественного» периода с определяющими его факторами

Створ	$\Delta Y \text{ м}^3/\text{с}$			$\Delta Y/Y \%$		
	R	$\frac{S}{\sigma}$	Уравнения	R	$\frac{S}{\sigma}$	Уравнения
к. Каль	—0,875	0,484	$\Delta Y = -1,22Y_{\text{вод}} + 204$	—0,848	0,531	$\Delta Y/Y = -0,34Y_{\text{вод}} + 56$
г. Бекабад	—0,719	0,695	$\Delta Y = -0,67 Y_{\text{вод}} + 226$	—0,632	0,775	$\Delta Y/Y = -0,14Y_{\text{вод}} + 48$
к. Кокбулак	—0,655	0,756	$\Delta Y = -1,10Y_{\text{вод}} + 447$	0,652	0,758	$\Delta Y/Y = 61,8K_{i-1} - 62$
к. Тюменьарык	—0,626	0,780	$\Delta Y = -1,02Y_{\text{вод}} + 378$	—0,635	0,773	$\Delta Y/Y = -0,33Y_{\text{вод}} + 123$
г. Казалинск	0,545	0,838	$\Delta Y = 239K_{i-1} - 259$	0,571	0,821	$\Delta Y/Y = 101K_{i-1} - 108$
ЧАКИР, сброс в Сырдарью	—0,605	0,796	$\Delta Y = -124K_i + 140$	—0,619	0,785	$\Delta Y/Y = -75,7K_i + 89$

Изменение стока по длине реки в невегетационный период носит более сложный характер по сравнению с вегетационным (табл. 5.4). Он уменьшается от Каля до Бекабада; затем в Кокбулаке несколько увеличивается, но не превышает сток (относительный) в Кале. Вплоть до выхода из среднего течения (к. Кокбулак) сток в невегетационный период в зоне использования стока превышает приток из зоны формирования, что говорит об интенсивном перераспределении его во времени и по длине реки. Лишь в исключительно маловодные годы (95% обеспеченности) сток в Кокбулаке меньше притока с гор.

В нижнем течении реки, особенно в створе г. Казалинска, убыль стока более существенна и наблюдается в годы любой водности. Регрессионный анализ зависимости убыли (или увеличения) невегетационного стока конкретных лет относительно «условно-естественного» периода от природных и антропогенных факторов показал следующее.

На первом этапе водохозяйственного строительства в створе к. Каль наблюдалась тенденция к уменьшению убыли стока с увеличением водности текущего ($r=0,56$) и предшествующего года ($r=0,43$). В Бекабаде и Кокбулаке, вероятно, вследствие возрастающей роли регулирующей емкости бассейна, увеличилось влияние водности предшествующего года ($r=0,64$).

На втором этапе водохозяйственного строительства резко возросла информативность антропогенного фактора (коэффициент корреляции с водозабором в створе к. Каль 0,88, в Бекабаде 0,72). Лишь в створе г. Казалинска и в замыкающих створах ЧАКИРа влияние природных факторов на изменение убыли стока превалирует (табл. 5.8).

Уравнения, связывающие изменение невегетационного стока р. Сырдарьи в 60- и 70-е годы относительно «условно-естественного» периода с определяющими его факторами, приведены в табл. 5.8.

Для всех створов (кроме г. Казалинска) уравнения соответствуют принятым критериям надежности, так как $R > 0,6$, а $S \leq 0,8$. Эти уравнения использованы для оценки изменения стока конкретных лет на втором этапе водохозяйственного строительства относительно принятого исходного уровня (табл. 5.9).

Таблица 5.9

Изменение стока р. Сырдарьи в невегетационный период 1958/59—1974/75 гг. в зависимости от величины водозабора выше исследуемого створа

Створ	Водоза бор, м ³ /с						
	150	200	250	300	350	400	450
к. Каль	—21	—40	—100				
г. Бекабад		92	58	26	—8		
к. Кокбулак			172	117	62	—48	
к. Тюменьарык				123	72	20	—82

В створе к. Каль невегетационный сток уменьшается с ростом водозабора. В нижележащих створах вследствие перераспределения стока во времени и по длине реки, а также действия ряда компенсационных факторов, невегетационный сток второго этапа водохозяйственного строительства выше исходного уровня. При этом прирост невегетационного стока возрастает по длине реки (табл. 5.9).

Однако по мере увеличения отъема стока роль компенсационных факторов уменьшается и при достижении некоторого «критического» водозабора невегетационный сток аналогично вегетационному уменьшается (табл. 5.9).

5.3. Изменение годового стока р. Сырдарьи

На первом этапе водохозяйственного строительства (1939/40—1957/58 гг.) годовой сток р. Сырдарьи в отличие от вегетационного и невегетационного заметно изменился лишь в самом верхнем створе (к. Каль).

Ниже по течению, в створах Бекабад и Кокбулак, убыль стока не превышала 4% его в «условно-естественный» период (табл. 5.10). Это послужило основанием для выводов о неизменности стока при развитии орошения [44, 45, 154]. Между тем в результате воздействия ряда факторов, о которых говорилось вы-

Таблица 5.10

Изменение годового стока р. Сырдарьи

Река, створ	Средняя за период убыль стока					
	относительно „условно-естественного“ периода				относительно 1939/40—57/58 гг.	
	1939/40—1957/58		1958/59—1974/75		1958/59—1974/75	
	м ³ /с	%	м ³ /с	%	м ³ /с	%
р. Сырдарья						
к. Каль	—46	—8,5	—107	—19,0	—70	—13,4
г. Бекабад	—14	—2,3	—98	—16,0	—85	—13,9
к. Кокбулак	—30	—4,0	—174	—26	—143	—20,2
к. Тюменьарык					—145	—22,3
г. Казалинск					—156	—33,7

ше, антропогенное влияние на сток в этот период сказывалось не столько в уменьшении стока, сколько в перераспределении его во времени и по длине реки (табл. 5.3, 5.4, 5.7). Аналогичные выводы о трансформации речного стока в пределах Ферганской долины в 1940—1953 гг. получены в работе [39].

На следующем этапе использования стока роль компенсирующих факторов значительно ослабела, темпы хозяйственного освоения увеличились и в результате вдоль всей реки сток уменьшился относительно принятого исходного уровня более существенно (табл. 5.10). В среднем за 17 лет (1958/59—1974/75 гг.), в течение которых наблюдались как исключительно многоводные (1969), так и крайне маловодные годы (1974, 1975), сток в Кале уменьшился на 19% относительно стока в этом створе в «условно-естественный» период, в Бекабаде на 16%, а при выходе из среднего течения (к. Кокбулак) — на 26%.

Относительно предшествующего периода (1939—1958 гг.) сток в верхнем створе уменьшился на 13%, а в нижнем — на 34% (табл. 5.10). В отдельные годы уменьшение стока было еще более существенным. Так, в створе к. Кокбулак убыль стока в отдельные годы превышала 260 м³/с, а в Казалинске достигала 300 м³/с и более. Максимальное уменьшение стока наблюдается, как правило, в годы многоводные, следующие за маловодными, и при сочетании ряда маловодных лет.

Интенсивность истощения годового стока во времени и по длине реки характеризует табл. 5.11. Если в верхнем и среднем течении р. Сырдарьи интенсивность затрат поверхностных водных ресурсов заметно увеличилась лишь в маловодные периоды (начало 60- и 70-х годов), то в нижнем течении она резко увеличилась и в многоводные годы.

По длине реки истощение водных ресурсов наиболее интенсивно происходит в 60- и 70-е годы (табл. 5.11). В первой половине 70-х годов за пределы Ферганской долины выходило в среднем

Таблица 5.11

Сток р. Сырдарьи в зоне его использования
(%) от притока из области формирования

Период осреднения, гг.	Сток (%) в створах				
	Каль	Бекабад	Кокбулак	Тюменьарык	Казалинск
1925/26—1929/30		64	64		
1930/31—1934/35	99	69	68	63	
1935/36—1939/40	92	65	63		
1940/41—1944/45	78	64	64	59	
1945/46—1949/50	88	68	65	53	
1950/51—1954/55	98	72	69	64	44
1955/56—1959/60	90	66	66	60	42
1960/61—1964/65	76	57	51	46	30
1965/66—1969/70	83	64	62	41	25
1970/71—1974/75	66	59	44	34	17

60%, за пределы среднего течения лишь 44%, а из орошаемой зоны (г. Казалинск) — менее 20% стока, сформированного в горах. В маловодные годы сток по длине реки уменьшался еще более

интенсивно. Так, в 1974 г. до створа к. Кокбулак доходило лишь 33% поверхностного стока, сформированного в горах, а в дельту р. Сырдарьи (г. Казалинск) — 13%. В 1975 г. в верхнем течении реки (г. Бекабад) было израсходовано 53% поверхностных водных ресурсов реки (в пределах Ферганской долины), в среднем течении — 75, а в нижнем — 98%. В дельту р. Сырдарьи (г. Казалинск) поступило всего 2% поверхностных водных ресурсов, сформировавшихся в горной части бассейна.

Выводы

1. Вегетационный сток р. Сырдарьи уже на первом этапе водохозяйственного строительства (1939/40—1957/58 гг.) уменьшился относительно принятого исходного уровня по всей длине р. Сырдарьи. Интенсивность этой убыли неодинакова в разных створах вследствие воздействия на территории, замыкаемой ими, ряда компенсационных факторов и перераспределения стока по длине реки.

На втором этапе водохозяйственного строительства (1958/59—1974/75 гг.) интенсивность убыли стока увеличилась вдоль всей реки.

Влияние компенсационных факторов сохранилось сколько-нибудь существенно лишь в нижнем течении реки (г. Казалинск).

Убыль вегетационного стока отдельных лет, связанная с антропогенным воздействием, в некоторой мере зависит от притока из области формирования стока. В створах кишлаков Каль, Тюмень-арык и г. Казалинска она возрастает от многоводных лет к маловодным.

В створах г. Бекабада и п. Кокбулака она увеличивается в многоводные годы и максимальна в годы, следующие за маловодными.

2. Невегетационный сток р. Сырдарьи на первом этапе водохозяйственного строительства уменьшился лишь в створе к. Каль. Ниже по течению реки вследствие перераспределения стока во времени и по длине реки, а также воздействия ряда компенсационных факторов, он увеличился.

На втором этапе сток в верхнем створе уменьшился еще более существенно, а в нижележащих увеличился относительно исходного уровня, но уменьшился по сравнению с предшествующим периодом. На этом уровне использования стока увеличение невегетационного водозабора уже не компенсируется полностью факторами, действовавшими на первом этапе.

3. Годовой сток р. Сырдарьи на первом этапе водохозяйственного строительства существенно уменьшился лишь в створе к. Каль. В этот период антропогенное влияние на сток сказывалось не столько в уменьшении стока, сколько в перераспределении его во времени и по длине реки.

На следующем этапе использования стока роль компенсирующих факторов значительно ослабела, темпы хозяйственного освоения увеличились и в результате вдоль всей реки сток уменьшился по сравнению с принятым исходным уровнем.

4. Истощение водных ресурсов по длине реки происходит наиболее интенсивно в 60- и 70-е годы, что связано как с резким увеличением водозабора из реки, так и с затянувшимся маловодьем.

5. Полученные уравнения регрессии, связывающие изменение стока конкретных сезонов под влиянием сложившейся природно-хозяйственной обстановки, позволяют прогнозировать эти изменения во времени и по длине реки.

ГЛАВА 6

ИЗМЕНЕНИЕ МИНЕРАЛИЗАЦИИ ВОДЫ р. СЫРДАРЬИ В СВЯЗИ С РАЗВИТИЕМ ОРОШЕНИЯ В ЕЕ БАССЕЙНЕ

Проблема научно обоснованного использования и охраны водных ресурсов, требующая тщательного изучения качества воды, особенно актуальна для регионов с напряженным водохозяйственным балансом, в которых перспективное развитие орошения может тормозиться не столько количественным, сколько качественным истощением водных ресурсов.

К таким регионам, безусловно, относится бассейн р. Сырдарьи, в котором уже на современном уровне развития хозяйства суммарный водозабор в отдельные периоды превышает приток из области формирования стока (табл. 2.6).

Число работ, посвященных изучению изменения минерализации воды под влиянием орошения относительно велико [15—17, 50, 62, 63, 87—88, 102, 103, 107—109, 119—122, 153], но лишь в отдельных из них [62, 63, 87—88, 102, 107, 109] делается попытка прогнозирования изменения минерализации воды в связи с осуществлением водохозяйственного строительства.

В этих работах исследование рассматриваемого вопроса проводится преимущественно с позиций гидрохимической науки. Особенности водного режима рек, гидрологические характеристики и показатели ирригационного использования воды применяются недостаточно. В связи с этим, хотя преимущества комплексного рассмотрения этой сложной проблемы очевидны, полезными представляются и результаты гидрологического анализа, оформленные в виде инженерных расчетов и прогнозов общей минерализации и содержания отдельных компонент.

Из ряда работ [16, 17, 32, 33, 62, 63, 66, 87, 88, 119] известно, что хозяйственное использование речных вод сопровождается повышением общей минерализации, изменением ионного состава воды, увеличением выноса микроэлементов, загрязнением ядохимикатами и т. д. Из широкого круга вопросов, возникающих при исследовании антропогенного воздействия на качество воды, в этой работе рассмотрено лишь изменение ее общей минерализации и ионного состава.

6.1. Особенности гидрохимического режима р. Сырдарьи в области формирования и использования стока и способы оценки средней за расчетный интервал минерализации

Первые сведения о минерализации воды в Сырдарье относятся к 1911—1913 гг., когда отбор проб проводился ежедневно и суммировался в течение месяца. Затем наблюдения не проводились вплоть до конца 30-х годов, и в последующие годы велись весьма нерегулярно.

В период 1911—1913 гг. химический состав воды в реке изучался в трех створах, в 40-х годах их число возросло до 6, а в последующих десятилетиях до 12 (табл. 6.1).

Таблица 6.1

Количество проб, отобранных на определение химического состава воды р. Сырдарьи и ее составляющих

Река	Створ	Расчетный период						
		1911—1913	1931—1940	1941—1950	1951—1960	1961—1970	1964—1975	1971—1975
Нарын	Учкурган	31	18	20	97	49	64*	37*
Карадарья	Кампыррават	—	18	16	54	57	62	29
»	Учтепе	—	—	—	31	37	77	40
Сырдарья	Каль	—	13	49	109	60	79	41
»	Акджар	—	—	—	36	46	56	28
»	Чильмахрам	—	—	—	—	3	24	21
»	Кзылкишлак	—	—	—	51	28	48	23
»	Бекабад	33	44	50	2	30	85	55
»	Надежденский	—	—	—	66	—	—	—
»	Чиназ	—	—	—	—	62	97	59
»	Кокбулак	—	20	36	6	—	—	—
»	Тюменьарык	—	5	—	51	19	—	13
»	Казалинск	20	3	17	80	33	—	15

* Количество проб дано до июля 1975 г.

К сожалению, наблюдения на этих створах велись с большими перерывами, что весьма затрудняет оценку и анализ изменений гидрохимического режима, связанных с хозяйственной деятельностью.

Наибольшее число проб было отобрано в 50-х годах, после чего их количество сократилось, в отдельных створах до 4—5 в год. В ряде створов наблюдения за химическим составом воды не велись в течение нескольких лет подряд и за десять лет набралось лишь несколько проб (табл. 6.1).

Вместе с тем исследованиями О. А. Алекина [4, 5], П. П. Воронкова [24], М. А. Буркальцевой [19, 20], В. В. Фадеева, М. Н. Тарасова [124] и др. показана большая изменчивость химического режима реки в зависимости от ее водности и фаз режима.

Гидрохимический режим горных рек в естественных условиях характеризуется большим разнообразием в зависимости от режима жидкого стока и большего числа других факторов, трудно поддающихся учету [19, 20].

На подъеме половодья минерализация воды (при равных расходах) выше, чем на спаде и в межень, что объясняется смывом первыми паводковыми водами с поверхности водосбора гидрохимического материала, накопленного за меженный период. При больших расходах воды различия в сумме ионов на подъеме и спаде половодья стираются. В фазу подъема половодья минимальная минерализация наблюдается в маловодные годы, так как в эти годы сток формируется в самой верхней, ежегодно промываемой, части водосбора. В многоводные годы в процесс формирования стока вовлекаются нижние части водосбора, где гидрохимический материал накапливается в течение ряда лет.

В результате минерализация воды на подъеме половодья многоводных лет значительно выше, чем в маловодные [19, 20, 124], а в годы средней водности занимает промежуточное положение.

Анализ расположения точек в координатном поле $\Sigma U = f(Q)$ позволяет сделать вывод об отсутствии тренда в многолетних колебаниях общей минерализации в области формирования стока и позволяет считать наиболее перспективной моделью для описания колебаний стационарный случайный процесс.

В области использования стока на гидрохимический режим реки помимо естественных факторов большое влияние оказывает хозяйственная деятельность, в первую очередь, орошение-дренирование земель и регулирование стока водохранилищами.

По мере интенсификации водохозяйственного строительства роль естественных факторов в формировании гидрохимического режима уменьшается и увеличивается влияние антропогенных.

Все большее влияние на формирование гидрохимического режима реки оказывают возвратные воды, их количество и минерализация. Как следствие, общая минерализация воды возрастает во времени и по длине реки и колебания ее не могут быть описаны стационарным случайным процессом. В результате затухающего влияния возвратных вод различия в минерализации воды в годы разной водности не обнаружены ни в одном из створов с нарушенным гидрохимическим режимом. В некоторой мере это, впрочем, может быть связано с малочисленностью исходных дан-

ных. Фазовые различия в основном сохраняются и в зоне использования стока.

В низовьях реки (створы Тюменьарыка и Казалинска) они даже увеличились в последние годы (табл. 6.2).

Таблица 6.2

Превышение среднемесячной минерализации воды в р. Сырдарье в фазу подъема половодья над минерализацией в фазы спада и межени, мг/л

Расчетный период, гг.	Превышение минерализации (мг/л) при расходах воды (м ³ /с)					
	300	400	500	600	700	800
к. Каль						
1938—1940	160	170		150		130
1964—1974	60	40		10		—10
к. Тюменьарык						
1961—1970		280	270	240		
1971—1974	220	370	340	360	310	
г. Казалинск						
1911—1913			160	150	105	
1960—1974	75	140	220	300		

По мере удаления реки от области формирования стока влияние природных факторов на формирование гидрохимического режима уменьшается, а антропогенных — увеличивается.

Совместное влияние природных и антропогенных факторов на минерализацию речной воды в области использования стока приводит к особой сложности гидрохимического режима, полноценное исследование которого осложняется крайней скудостью исходной информации (табл. 6.1).

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

Между тем для решения поставленной задачи — оценки изменения минерализации воды р. Сырдарьи по длине и во времени под влиянием комплекса водохозяйственных мероприятий — необходимо располагать сравнимыми данными. Поэтому возникает задача оценки средних за принятый интервал времени (например, месяц) величин минерализации по имеющимся единичным замерам. Для этой цели используются, как правило, графические зависимости либо между минерализацией воды и временем, либо между минерализацией и расходами воды [3]. Первый, наиболее распространенный способ может дать хорошие результаты лишь при сравнительно частом отборе проб, допускающем линейную интерполяцию.

Согласно исследованиям ГХИ [125] для характеристики внутригодового распределения минерализации на реках Тяньшанского гидрокарбонатного типа с точностью $\pm 20\%$ следует отобрать не менее 28 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, приводящих к смене класса воды на сульфатно-натриевый, число проб должно быть, вероятно, еще больше.

Практически при принятой системе наблюдений это требование не выполняется. Так, например, в створе Казалинска в исключительно многоводном 1969 г. было взято всего 2 пробы, а в маловодном 1965 г. — 4. В створе Акджара число проб в эти годы колебалось в пределах 4—6. Аналогичная картина наблюдалась и во всех других створах.

Естественно, что столь малое количество замеров, осуществленных не во все фазы водного режима, 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 методом линейной интерполяции.

При редком отборе проб более целесообразным представляется второй способ, позволяющий по кривым $\Sigma U = f(Q)$ оценить наиболее вероятное значение 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.

Для описания гидрохимического режима реки в пределах области формирования стока, где хозяйственная деятельность в современных условиях и в ближайшей перспективе развиты слабо, представляется возможным объединение данных наблюдений с 1911 по 1975 г. в один статистический ряд. Это положение подтверждается при анализе расположения точек в координатном поле $\Sigma U = f(Q)$ для двух основных составляющих р. Сырдарьи — Нарына (г. Учкурган) и Карадарьи (к. Кампыррават), которые рассматриваются как индикаторы гидрохимического режима горной области.

Поскольку гидрохимический режим рек существенно зависит от водности года и фаз режима реки, связи $\Sigma U = f(Q)$ для рек Нарына (рис. 8) и Карадарьи строились отдельно для маловодных, многоводных и средних по водности лет, выделенных по принципу обеспеченности среднегодового расхода. Существенными оказались также различия в общей минерализации для двух периодов: подъема половодья (апрель—июнь), а также его спада (июль—сентябрь) и межени (октябрь—март) (рис. 8).

Спад половодья и межень характеризуются относительно большей теснотой зависимости $\Sigma U = f(Q)$ по сравнению с подъемом половодья. В этот период более половины изменчивости общей минерализации объясняется изменчивостью расходов воды [32]. Относительно высокая точность зависимостей $\Sigma U = f(Q)$ в эти фа-

зы режима обусловлена отсутствием дождевых паводков и большой долей участия в стоке реки устойчивого грунтового питания.

На подъеме половодья условия формирования гидрохимического режима рек сложнее, так как уровень случайности существенно больше за счет прохождения дождевых паводков, разновременности поступления водных масс с различных частей водосбора. Изменчивостью водоносности в эту фазу объясняется менее полови-

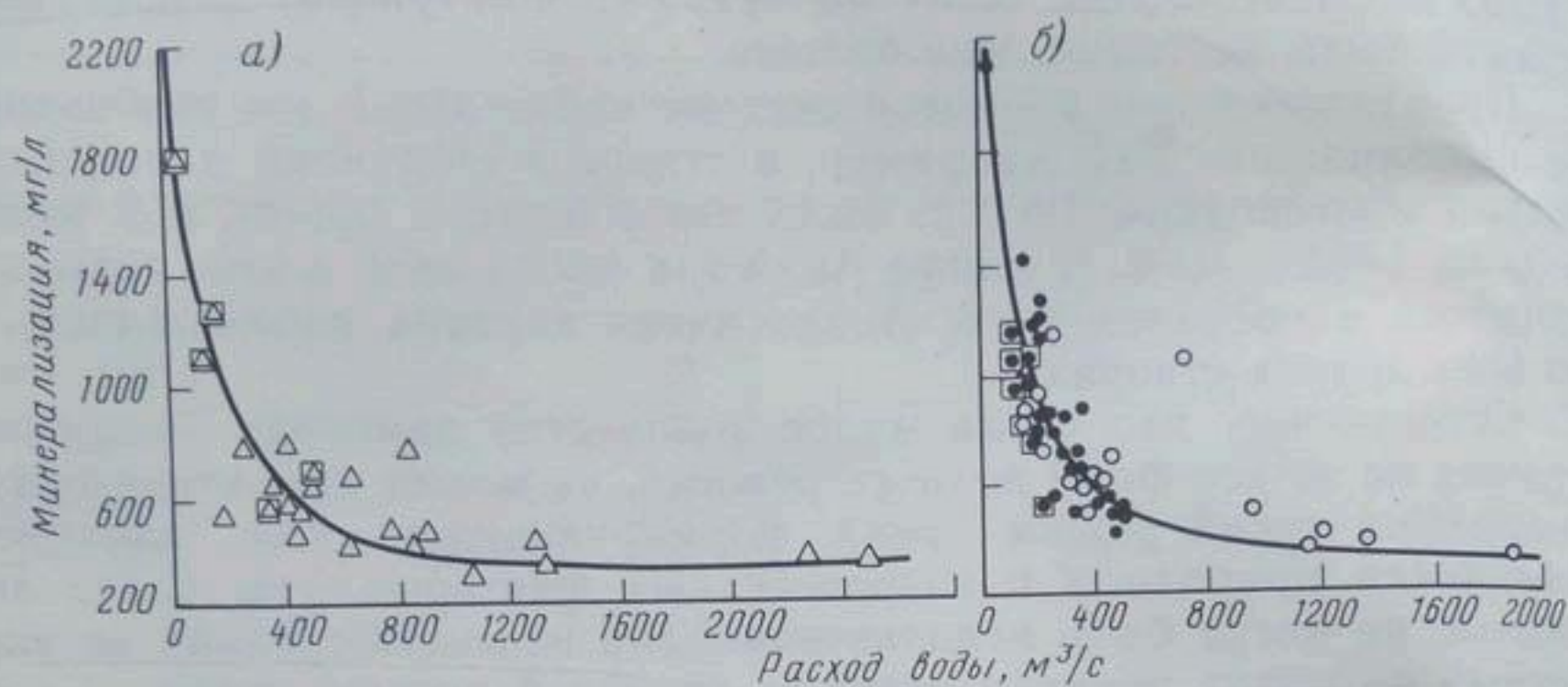


Рис. 8. Зависимость минерализации воды р. Нарын в створе Учкургона от водности и фаз режима в маловодные годы (а), многоводные годы (б) и средние по водности годы;

1 — межень, 2 — спад половодья, 3 — подъем половодья, 4 — те же фазы режима в период 1970—1975 гг.

ны изменчивости общей минерализации [32], т. е. основные естественные причины, определяющие изменчивость общей минерализации, остаются неизвестными. Это свидетельствует о необходимости более глубокого изучения гидрохимического режима рек в области их формирования. Очевидно, принятое нами и в других работах [4, 20] деление на три группы водности лет недостаточно. Так, общая минерализация воды на подъеме половодья в экстремальные по водности 1953 и 1969 гг. ($P_{Q_{\text{ср. год}}} \approx 1 - 5\%$) существенно превышала осредненные значения по кривым $\Sigma U = f(Q)$ для лет повышенной водности. В такие годы происходит вымывание солей, накопленных в низкогорной зоне, участвующей в процессе формирования стока лишь в очень многоводные годы. Поскольку условия формирования гидрохимического режима от года к году меняются, вероятно, более правильно было бы строить зависимости $\Sigma U = f(Q)$ для каждого года. Однако это не осуществимо из-за крайней ограниченности исходной информации. Для более надежного статистического обоснования зависимостей $\Sigma U = f(Q)$ наблюдения всех лет сгруппированы в зависимости от водности лет (по обеспеченности среднегодового расхода) и фаз режима. Это позволило получить наиболее вероятные значения ΣU при фиксированном среднемесячном расходе воды с учетом водности года и фазы режима реки.

В отдельные годы фактическая минерализация могла существенно отличаться от полученных средних характеристик. Однако для решения поставленной задачи — оценки изменения минерализации воды под влиянием хозяйственной деятельности — это величины представляются нам вполне репрезентативными.

Наличие временного тренда, возрастающего по мере удаления от области формирования стока [32], исключает возможность объединения всех результатов наблюдений в этой зоне в единый временной ряд. В связи с этим возникла необходимость разбивки ряда на периоды, внутри которых уровень водохозяйственного строительства менялся не существенно.

Длительность расчетных периодов и их статистическая обоснованность эмпирическими данными видна из графиков связи $\Sigma U = f(Q)$, которые для примера приведены на рис. 9. Многие из них очень слабо обоснованы в области «малых» расходов ($Q < 100-200 \text{ м}^3/\text{с}$), т. е. именно в области максимальных приращений минерализации. Это обстоятельство весьма затрудняет оценку изменения минерализации в маловодные годы при максимальном использовании речного стока на орошение.

В некоторых створах в отдельные периоды времени эмпирические точки резко отклоняются от кривых $\Sigma U = f(Q)$. Это может быть связано как с грубыми ошибками измерения расходов воды и минерализации, так и с аномальными гидрохимическими условиями в момент взятия пробы.

Анализ расположения эмпирических точек на графиках связи $\Sigma U = f(Q)$ показывает, что последние годы (1971—1975) по минерализации в основном не отличаются от периода 60-х годов. Это дало основание объединить данные по минерализации 60-х и 70-х годов в одну статистическую выборку.

В створах Каль и Акджар минерализация в фазы межени и спада половодья в период 1974—1975 гг. характеризуется несколько меньшими значениями, чем в предыдущие годы при тех же расходах воды, что может быть связано с работой Токтогульского водохранилища.

Малочисленность исходных данных и наличие некоторого тренда минерализации в зоне использования стока даже в пределах расчетных периодов не позволили оценить характеристики изменчивости и степень случайного рассеивания величин ΣU относительно линии связи $\Sigma U = f(Q)$ для конкретных лет. Лишь для створа Казалинск за период 1950—1959 гг., когда связь $\Sigma U = f(Q)$ практически отсутствовала, были получены некоторые статистические характеристики (табл. 6.3).

Относительно большое число наблюдений в этот период (80 случаев) позволило проверить гипотезу о виде закона распределения величины ΣU . Эта процедура, выполненная при помощи статистического критерия $n\omega^2$ на 5%-ном уровне значимости [115], показала применимость нормального закона, хотя в эмпирической гистограмме прослеживается некоторая положительная асимметрия.

Пользуясь широко известными таблицами нормального распределения [115], можно определить полезные для инженерных расчетов характеристики. В табл. 6.2 приведены некоторые из них: интервал $\Sigma U \pm 1,64\sigma_{\Sigma U}$, в пределах которого будет находиться ΣU с вероятностью 0,9, а также ΣU 1%-ной обеспеченности.

Первую характеристику можно трактовать так: в среднем 90% продолжительности фазы (половодья и межени) минерализация воды не выйдет за указанные пределы и лишь в 5% времени превысит $\Sigma U + 1,64\sigma_{\Sigma U}$, а в 5% времени будет меньше $\Sigma U - 1,64\sigma_{\Sigma U}$. Величина общей минерализации 1%-ной обеспеченности равна $\Sigma U + 2,33\sigma_{\Sigma U}$. Такая минерализация может наблюдаться в реке крайне ограниченный промежуток времени (1% продолжительности фазы); ее появление свидетельствует об экстремальных условиях формирования гидрохимического режима.

Таблица 6.3

Статистические характеристики минерализации воды р. Сырдарьи в створе г. Казалинска за период 1950—1959 гг.

Фаза водного режима	$\Sigma \bar{U}$ мг/л	$\sigma_{\Sigma U}$ мг/л	$\Sigma U + 1,64\sigma_{\Sigma U}$ мг/л	$\Sigma U - 1,64\sigma_{\Sigma U}$ мг/л	Фактические значения		ΣU 1% мг/л
					максимальные	минимальные	
Межень	812	154	1064	560	1419	583	1170
Подъем и спад половодья	632	157	889	374	980	435	998

Зависимость общей минерализации от расходов воды сохраняется почти на всех уровнях водохозяйственного строительства и вдоль всей реки. Это позволило использовать кривые $\Sigma U = f(Q)$ для подсчета среднемесячных значений минерализации по среднемесячному расходу воды. Лишь в створах Кзылкишлака и Бекбада зависимость $\Sigma U = f(Q)$ нарушена в последние годы на фазе подъема в связи с регулированием водного и гидрохимического режима реки Кайраккумским водохранилищем. Среднемесячная минерализация в этих створах в периоды отсутствия связи $\Sigma U = f(Q)$ определялась по хронологическому графику ΣU . В отдельные периоды нарушена связь $\Sigma U = f(Q)$ в фазу межени в створах Бекабад, Тюменьарык, Казалинск. В этих случаях за среднемесячную минерализацию принято среднеарифметическое из измеренных величин за расчетный интервал времени. Аналогично получены среднемесячные величины минерализации в створе г. Казалинска за период 1950—1959 гг.

Некоторое представление о допускаемых при этом отклонениях фактических величин от вычисленных дает табл. 6.3.

Примененный прием перехода от единичных измерений химического состава воды к среднемесячному, а затем среднему за сезон, значению минерализации позволил оперировать в дальнейших расчетах сопоставимыми данными.

6.2. Изменение общей минерализации воды под влиянием антропогенных факторов

В условиях Средней Азии, где ирригационное водопотребление составляет более 90% суммарного, антропогенное воздействие на минерализацию речной воды связано, главным образом, с орошением. Это, с одной стороны, обогащение речной воды минеральными солями в процессе ее контактирования с почвогрунтами орошаемой территории, а с другой — трансформация гидрохимического режима в водохранилищах.

Влияние водохранилищ на изменение гидрохимического режима речного стока рассмотрено в работах [22, 23, 62, 63, 86, 93, 120]. В них отмечается [120], что в первые годы существования водохранилищ (период заполнения) минерализация воды в нем за счет выщелачивания солей из ложа может быть выше, чем в источнике питания.

В последующем, при установившемся режиме, различия в минерализации воды в водохранилище и в питающей его реке сглаживаются и водохранилища лишь регулируют солевой состав воды.

В равнинных условиях аридного климата минерализация воды в водохранилищах может несколько повышаться за счет испарения. Однако, согласно расчетам К. Г. Лазарева и др. [62, 63], увеличение минерализации за счет испарения из водохранилищ в маловодные годы не превышает 8—10% в бассейне р. Сырдарьи и 9% в бассейне р. Амударьи.

В то же время под влиянием всего комплекса антропогенных факторов минерализация возрастает в несколько раз.

Увеличение минерализации речной воды происходит в основном в результате выноса в реки возвратными водами огромного количества солей, которыми обогатилась оросительная вода в процессе ее контактирования с почвой и подстилающими породами.

Минерализация дренажных вод в Азовской оросительной системе во много раз превышает минерализацию речных вод [65]. Вынос солей с Петровско-Анастасиевской системы [121] примерно в 10 раз превышает их поступление с оросительными водами. Аналогичные цифры приводятся для Вахшской долины [38].

По мере развития орошения все большее количество воды изымается из русел рек на территорию; доля транзитного стока уменьшается, а возвратных вод увеличивается.

В результате в пределах всей области использования стока минерализация воды резко возрастает во времени и по длине реки. В створе к. Каль в среднем за вегетационный период она увеличилась в 1,8 раза в 1961 г. и в 2,3 раза в 1974 г. относительно 1938 г. при практически равном удельном притоке солей из области формирования стока. В створе Казалинска средняя за вегетацию минерализация возросла в 1974 г. в 3,1 раза, а в 1975 г. в 5,1 по сравнению с 1952 г. при меньшем притоке солей с гор. Аналогичная картина наблюдается и в невегетационный период.

В каждый фиксированный момент времени минерализация в реке увеличивается по мере удаления от области формирования стока и практически не зависит от притока солей с гор.

Коэффициенты корреляции между средней (взвешенной по стоку) минерализацией воды рек Нарын и Карадарья и суммой ионов в Сырдарье (к. Каль) за оба сезона незначимы — 0,18—0,21. Следовательно, уже в верхнем течении р. Сырдарьи (к. Каль) основными факторами, определяющими минерализацию, являются антропогенные.

Увеличение минерализации по длине реки наблюдалось еще в конце 30-х годов [117]. Однако особенно резко она стала нарастать в последние годы, что связано как с затянувшимся маловодьем, так и с резким увеличением водозабора из р. Сырдарьи.

В первой половине 70-х годов средняя за сезон минерализация воды в створе Каля превышала приток солей с гор в 2—3 раза, в Бекабаде — в 3—4 раза, а в Казалинске — в 4—6 раз.

Аналогичные выводы получены Б. А. Беремжановым и М. А. Ибрагимовой [15] для бассейнов рек Чу, Талас и Асса.

Изменение минерализации речной воды во времени и по территории определяется соотношением доли возвратных и транзитных (т. е. транзитом поступающих из области формирования стока) вод и их минерализации. Чем больше содержание в стоке реки возвратных вод, характеризующихся более высокой концентрацией солей по сравнению с транзитными, тем выше минерализация воды в реке [33, 62, 63, 107, 119]. Это хорошо видно из уравнения смешения вод

$$\Sigma U_p = \frac{\Sigma U_t W_t + \Sigma U_d W_d + \Sigma U_c W_c}{W_t + W_d + W_c}, \quad (16)$$

где ΣU_p — минерализация речной воды в исследуемом створе; ΣU_t — минерализация стока, поступающего транзитом из области формирования; ΣU_d — минерализация дренажных вод; ΣU_c — минерализация сбросных вод; W_t , W_d , W_c — соответственно объемы транзитных, дренажных и сбросных вод.

В современных условиях практически невозможно разделить возвратные воды на дренажные и сбросные, поэтому они рассматривались в сумме. В качестве индекса, характеризующего в каждом конкретном случае соотношение транзитных и возвратных вод, использовано соотношение

$$\alpha_{\text{воз}} = \frac{U_{\text{воз}}}{U_o}, \quad (17)$$

где $U_{\text{воз}}$ — сток возвратных вод в исследуемом створе реки; U_o — суммарный сток реки в том же створе.

Зависимость $\Sigma U = f(\alpha_{\text{воз}})$, как это следует из рис. 10 и уравнения (16), линейна.

При $\alpha_{\text{воз}} \rightarrow 0$ минерализация воды в створе Бекабада приближается к минерализации вод Нарына и Карадарьи на выходе из гор (≈ 250 — 300 мг/л), а при $\alpha_{\text{воз}} \rightarrow 1$ — к минерализации коллекторных вод, которая в пределах Ферганской долины (по дан-

ным А. П. Орловой [88]) колеблется в пределах 1000—2500 мг/л при среднем значении 1850 мг/л.

Соотношение транзитных и возвратных вод по длине реки и во времени определяется степенью изъятия стока [33]:

$$\alpha_{из} = \frac{Y_{вод}}{Y_{п}}, \quad (18)$$

где $Y_{п}$ — суммарный приток из области его формирования; $Y_{вод}$ — суммарный водозабор выше исследуемого поста.

С увеличением степени изъятия стока ($\alpha_{из}$) растет доля возвратных вод ($\alpha_{воз}$) (рис. 11), а следовательно, и минерализация.

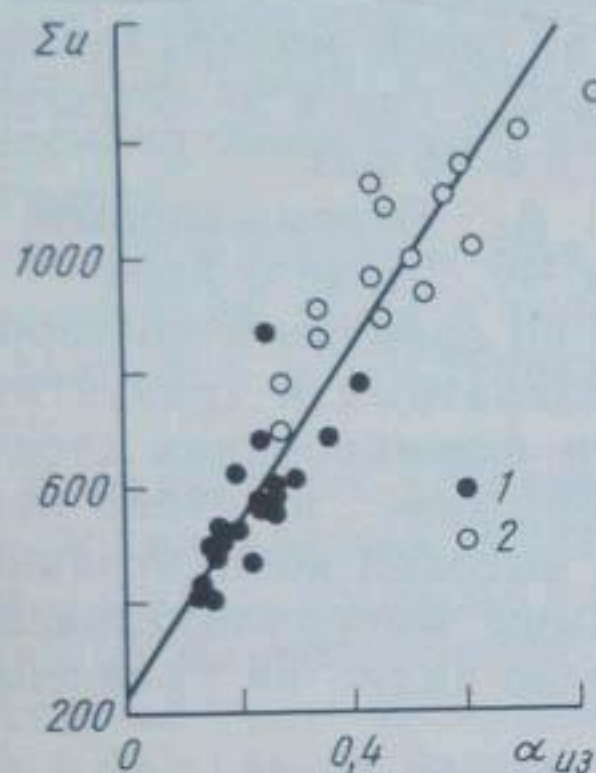


Рис. 10. Зависимость средней за год минерализации воды р. Сырдарьи в створе г. Бекабада от доли возвратных вод в стоке через этот створ;

1 — 1937/38—1957/58 гг., 2 — 1958/59—1974/75 гг.

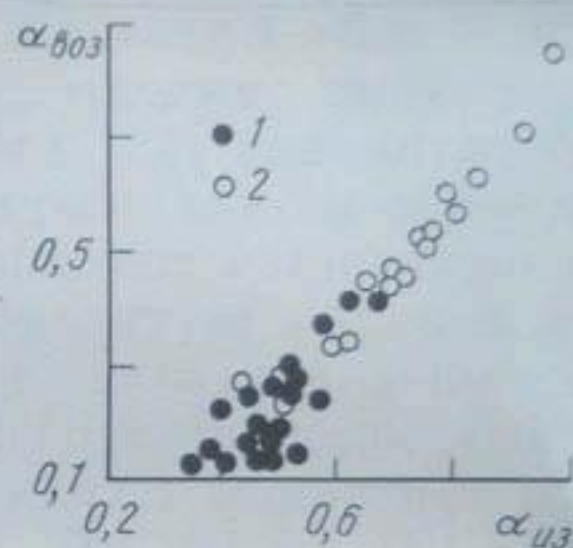


Рис. 11. Зависимость доли возвратных вод ($\alpha_{воз}$) в годовом стоке р. Сырдарьи в створе г. Бекабада от степени изъятия поверхностного стока ($\alpha_{из}$) выше этого створа:

1 — 1935/36—1957/58 гг., 2 — 1958/59—1974/75 гг.

Естественно предположить, что в силу инерции гидрологических процессов, при равной степени изъятия стока минерализация воды будет выше в периоды, которым предшествовало повышенное значение $\alpha_{из}$. Поэтому в качестве второго антропогенного фактора, характеризующего соотношение транзитных и возвратных вод в реке, исследовались коэффициенты изъятия стока предшествующего сезона ($\alpha'_{из}$) и вышележащего створа ($\alpha''_{из}$).

Минерализация возвратных вод, поступающих в русло реки в современных условиях, не измеряется, а сведения о химическом режиме коллекторных вод носят отрывочный характер (по территории и во времени).

В качестве индекса, характеризующего условия формирования естественного гидрохимического режима, можно принять минерализацию вод Нарына и Карадарьи (взвешенную по стоку) при выходе их из гор ($\Sigma U_{н+к}$).

Исследовались многофакторные статистические зависимости

$$\Sigma U = f(\alpha_{из}; \alpha'_{из}; \alpha''_{из}; \Sigma U_{H+K}) \quad (19)$$

для четырех опорных створов на р. Сырдарье.

Корреляционный анализ показал, что уже в створе к. Каль, расположенном ближе других постов на р. Сырдарье к зоне формирования стока, среднесезонная минерализация практически не зависит от притока солей с гор, а полностью определяется антропогенными факторами. При этом в верхних створах, замыкающих ирригационные районы, непосредственно прилегающие к зоне формирования стока, минерализация воды определяется изъятием стока в пределах региона в текущем сезоне.

Вниз по течению реки увеличивается информативность других антропогенных факторов.

В створе г. Бекабада повышается роль изъятия стока в предшествующий сезон — до 13% в вегетацию и 32% в период ноябрь—апрель. В нижнем течении реки в результате увеличения трансформирующей способности бассейна некоторое влияние на минерализацию в вегетационный период оказывает изъятие стока на территорию, замыкаемую вышележащим створом. В невегетационный период повышается роль степени изъятия стока в предшествующую вегетацию. Вклад в уравнение регрессии последнего аргумента составил в Бекабаде 32%, в Тюменьарыке — 23 и в Казахлинске 45%.

Полученные уравнения (табл. 6.4), улавливающие основные закономерности изменения общей минерализации воды р. Сырдарьи под влиянием антропогенных факторов, использованы для количественных оценок этих изменений.

Чтобы исключить влияние природных факторов, сравним минерализацию речной воды в периоды, приведенные к одинаковой водности (табл. 6.5).

В период, предшествующий интенсивному водохозяйственному строительству (1935—1939 гг.), из р. Сырдарьи и ее притоков в пределах Ферганской долины изымалось в вегетацию от 33% стока в многоводные годы до 55% — в маловодные (табл. 2.6). Соответственно минерализация в вегетацию в Кале менялась в пределах 330—420 мг/л, а в Бекабаде 390—630 мг/л. В невегетационный период амплитуда среднесезонной минерализации не превышала 30—70 мг/л (табл. 6.5).

Изменения минерализации по длине реки в многоводные и средние по водности годы находились в пределах точности расчетов ее по уравнениям, приведенным в табл. 6.4.

Лишь в маловодные годы нарастание минерализации по длине реки было ощутимым (табл. 6.5).

О. А. Алекин [2], исследовавший гидрохимический режим Сырдарьи за 1937—1944 гг., также пришел к выводу об относительной стабильности минерализации воды реки в пределах Ферганской долины.

Уравнения регрессии среднесезонной минерализации воды р. Сырдарьи от определяющих ее факторов

Река, створ	n	$0,674 \sigma$	Число случаев (%) в интервале $\pm 0,674 \sigma$	R	Уравнения
Май—октябрь					
Сырдарья, к. Каль	25	96	84	0,883	$\lg \Sigma U = 0,554 \alpha_{из} + 2,402$
» г. Бекабад	24	168	96	0,931	$\lg \Sigma U = 0,739 \alpha_{из} + 0,206 \alpha'_{из} + 2,279$
» к. Тюменьарык	18	183	89	0,953	$\lg \Sigma U = 0,790 \alpha''_{из} + 2,399$
» г. Казалинск	19	366	83	0,897	$\lg \Sigma U = 0,556 \alpha''_{из} + 2,487$
Ноябрь—апрель					
Сырдарья, к. Каль	25	80	96	0,914	$\lg \Sigma U = 0,293 \alpha_{из} + 2,636$
» г. Бекабад	24	143	83	0,860	$\lg \Sigma U = 731 \alpha_{из} + 445 \alpha'_{из} + 198$
» к. Тюменьарык	18	197	100	0,963	$\lg \Sigma U = 0,433 \alpha_{из} + 0,189 \alpha'_{из} + 2,546$
» г. Казалинск	19	218	95	0,939	$\lg \Sigma U = 0,256 \alpha''_{из} + 0,270 \alpha'_{из} + 2,624$

Средняя за сезон минерализация воды р. Сырдарьи (мг/л) на разных уровнях водохозяйственного строительства в зависимости от водности лет

Год	Створ	При водности вегетационного периода обеспеченностью (%)					При водности невегетационного периода обеспеченностью (%)				
		25	50	75	95	97	25	50	75	95	97
1935—1940	к. Каль	330	350	380	410	420	500	520	530	540	
	г. Бекабад	390	450	530	600	630	610	630	640	670	680
	к. Тюменьарык	460	520	590	660	680					
1950—1955	к. Каль	390	430	470	520	540	540	560	570	570	
	г. Бекабад	500	560	670	770	820	700	740	770	810	820
	к. Тюменьарык	560	620	720	800	850	660	700	760	820	830
	г. Казалинск	630	700	770	960	1040	740	780	840	900	910
1956—1960	к. Каль	470	500	540	610	630	618	674	718	783	800
	г. Бекабад	580	690	840	970	1040	860	890	940	1000	1010
	к. Тюменьарык	630	730	860	980		740	770	840	900	900
	г. Казалинск	730	770	900	1090	1260	810	840	920	980	980
1961—1966	к. Каль	480	550	610	680	720	670	750	800	890	910
	г. Бекабад	700	840	1040	1210	1290	970	1080	1200	1330	1350
	к. Тюменьарык	750	860	1040	1180	1240	880	990	1240	1630	1680
	г. Казалинск	840	920	1080	1270	1410	920	1040	1280	1540	1580
1970—1975	к. Каль	540	600	670	760	800	728	800	838	920	933
	г. Бекабад	800	950	1180	1410	1540	1060	1160	1280	1410	1430
	к. Тюменьарык	830	960	1160	1340	1440	1060	1170	1490	2020	2050
	г. Казалинск	1120	1240	1430	1680	1890	1150	1260	1520	1830	1870

По мере увеличения степени изъятия стока увеличивалась минерализация воды в реке (табл. 6.5).

В первой половине 70-х годов минерализация вегетационного стока в створе к. Каль увеличилась по сравнению с исходным уровнем (1935—1940 гг.) в год средней водности на 70%, а в год 95%-ной обеспеченности — на 85%.

В Бекабаде в тех же условиях минерализация возросла на 110 и 135%, а в Тюменьарыке — на 85 и 100%.

На каждом этапе водохозяйственного строительства минерализация воды вегетационного периода увеличивалась по длине реки и от многоводных лет к маловодным (табл. 6.5). Аналогичная картина изменения минерализации наблюдается и в невегетационный период (табл. 6.5).

На всех уровнях развития хозяйства минерализация воды в невегетационный период выше, чем в вегетационный. Однако в маловодные годы может наблюдаться и обратная картина (табл. 6.5).

При современном (1970—1975 гг.) изъятии речного стока минерализация вегетационного стока маловодных лет уже в створе к. Каль достигает 800 мг/л, а в Казалинске — 1890 мг/л; минерализация невегетационного стока в аналогичных условиях может превышать в низовьях реки 2000 мг/л.

В отдельные месяцы минерализация воды может существенно отличаться от средней за сезон.

Анализ изменения среднемесячной минерализации под влиянием антропогенных факторов, проведенный на примере р. Сырдарьи в пределах Ферганской долины [110], показал, что наиболее информативным аргументом является водозабор текущего месяца. В период июнь—август повышается влияние изъятия предшествующего месяца.

На современном уровне (1970—1975 гг.) использования стока средняя июньская минерализация в годы 95%-ной обеспеченности может превышать в створе к. Каль 1,2, а в Акджаре 1,9 г/л.

В отдельные дни минерализация воды может быть еще выше. Так, 8 июня 1974 г. при расходе 70 м³/с в створе к. Каль была зафиксирована минерализация 1,8 г/л, а 5 июля 1974 г. при расходе 24 м³/с — 2,1 г/л. Все это говорит о необходимости создания службы оперативного контроля гидрохимического режима рек в зонах их интенсивного использования в народном хозяйстве.

6.3. Изменение ионного состава воды р. Сырдарьи под влиянием хозяйственной деятельности

Ионный состав большинства вод суши закономерно связан с общей минерализацией [4, 16, 62, 63]. Поэтому увеличение минерализации воды р. Сырдарьи сопровождалось изменением ионного состава.

Закономерности изменения ионного состава речных вод под влиянием антропогенных факторов исследовались при помощи

уравнений регрессии, связывающих каждый из ионов с их суммой. Для этой цели использованы данные проб на химический анализ воды р. Сырдарьи и ее составляющих в створах Учкурган, Кампыррават, Каль, Бекабад, Кокбулак, Тюменьарык и Казалинск за период с 1938 по 1974 г. Предварительно была проверена гипотеза о статистической однородности рядов наблюдений за суммой ионов и ее отдельными компонентами [81]. Для большинства из них в зоне использования стока расхождения в оценках среднего и дисперсии (на 5%-ном уровне значимости) на разных уровнях водохозяйственного развития оказались существенными.

В связи с этим весь исследуемый период был разбит на ряд этапов (табл. 6.6), отличающихся по степени использования стока. К сожалению, различная частота отбора проб в эти периоды не позволила достигнуть одинакового статистического обоснования полученных уравнений эмпирическими данными. Даже в пределах одного створа и периода для разных компонент использовалось неодинаковое число случаев, ввиду отсутствия данных по некоторым ионам (чаще всего $\text{Na}^+ + \text{K}^+$).

Анализ данных по химизму речных вод в створах с естественным гидрохимическим режимом (Учкурган и Кампыррават) показал статистическую однородность всего ряда наблюдений, что позволило получить единые для всего периода уравнения регрессии концентрации отдельных ионов от их суммы.

Графически установлена линейность большинства исследуемых зависимостей. Лишь Cl^- связан с суммой ионов зависимостью параболического типа.

Линейность связи минерализации с отдельными ионами отмечается и для р. Амур [89].

В створах с нарушенным гидрохимическим режимом по длине реки и во времени связь суммы ионов с анионом HCO_3^- ухудшается, а с SO_4^{2-} и Cl^- усиливается, одновременно улучшается связь с Mg и $\text{Na} + \text{K}$ (табл. 6.6). Это говорит об увеличении вклада токсичных ионов в формирование минерализации речной воды в зоне ее использования.

Ниже приводятся уравнения регрессии, связывающие отдельные ионы с их суммой при коэффициентах корреляции $r \geq 0,6$ (табл. 6.7).

Уравнения имеют расчетное значение и использованы для подсчета наиболее вероятного весового значения основных ионов на разных этапах водохозяйственного развития (табл. 6.8).

При коэффициенте корреляции $r < 0,6$ для характеристики ионного состава воды в первом приближении принято среднее за период значение концентрации исследуемого иона (табл. 6.6).

Расчеты показывают, что при большой изменчивости ионного состава воды в зоне использования стока в области его формирования он практически постоянен (табл. 6.8). Следовательно, колебания концентрации отдельных ионов в стоке реки в створах с нарушенным гидрохимическим режимом определяются только антропогенными факторами. Влияние последних будет более на-

Статистические характеристики ионного состава воды
р. Сырдарья, мг/л

Расчетный период, гг.	Число случаев	Ca			Mg			Na + K		
		r	$\bar{x}$	$\pm \sigma_x$	r	$\bar{x}$	$\pm \sigma_x$	r	$\bar{x}$	$\pm \sigma_x$
р. Нарын — г. Учкурган										
1938—1943, 1950—1974	124—204	0,75	51,5	16,2	0,66	13,4	4,7	0,78	21,9	11,8
р. Сырдарья — к. Каль										
1938—1945	21—47	0,83	95,0	28,8	0,54	16,1	10,6	0,44	17,9	12,9
1950—1957	88—98	0,78	71,2	17,1	0,86	25,5	10,6	0,85	48,0	22,9
1958—1965	58	0,89	77,0	26,1	0,96	37,1	15,0	0,95	59,3	27,9
1966—1974	70	0,93	83,5	24,8	0,94	42,5	23,9	0,90	62,7	45,8
р. Сырдарья — г. Бекабад										
1937—1945	36—94	0,80	90,9	34,6	0,71	23,2	11,6	0,77	48,4	24,8
1967—1974	49—71	0,74	120,7	23,8	0,79	77,7	24,0	0,68	116,0	39,0
р. Сырдарья — к. Кокбулак (Тюменьарык)										
1938—1945	21—56	0,69	93,5	28,3	0,46	19,8	9,3	0,83	30,5	20,3
1950—1957	45—47	0,54	87,3	24,0	0,84	33,7	15,6	0,84	88,9	38,7
1958—1965	28	0,67	89,1	18,9	0,93	45,1	14,1	0,94	116,2	41,7
1967—1974	25	0,73	101,8	16,0	0,90	63,0	13,1	0,98	173,2	69,3
р. Сырдарья — г. Казалинск										
1938—1945	12	0,96	101,0	39,5	0,76	20,4	5,4	0,98	39,8	20,6
1950—1957	73—75	0,65	83,2	16,8	0,49	28,2	14,1	0,80	80,1	39,1
1958—1965	30—34	0,55	95,3	17,5	0,84	50,4	21,5	0,88	142,2	72,3
1966—1974	31	0,83	102,5	17,1	0,80	67,1	26,1	0,95	199,0	81,0

Расчетный период, гг.	Число случаев	HCO ₃			SO ₄			Cl		
		r	$\bar{x}$	$\pm \sigma_x$	r	$\bar{x}$	$\pm \sigma_x$	r	$\bar{x}$	$\pm \sigma_x$
р. Нарын — г. Учкурган										
1938—1943, 1950—1974	124—204	0,83	141,5	25,4	0,92	74,4	24,1			
р. Сырдарья — к. Каль										
1938—1945	21—47	0,39	196,2	36,6	0,92	144,5	73,9		26,6	
1950—1957	88—98	0,66	183,9	30,8	0,96	182,3	78,7		28,6	
1958—1965	58	0,80	170,5	34,7	0,99	251,1	119,3	0,98	43,5	19,9
1966—1974	70	0,81	178,0	29,4	0,99	291,9	173,6		45,6	
р. Сырдарья — г. Бекабад										
1937—1945	36—94	0,65	190,4	38,9	0,96	173,7	95,4		39,3	
1967—1974	49—71	0,64	204,7	35,6	0,96	506,8	115,8		87,3	
р. Сырдарья — к. Кокбулак (Тюменьарык)										
1938—1945	21—56	0,45	207,2	37,3	0,90	162,3	75,2		36,4	
1950—1957	45—47	0,03	174,1	31,9	0,98	257,1	113,5		56,4	
1958—1965	28	0,04	173,8	29,8	0,98	363,6	127,8		81,0	
1967—1974	25	—0,05	166,2	20,9	0,98	526,6	133,7		108,8	
р. Сырдарья — г. Казалинск										
1938—1945	12	0,85	245,3	89,2	0,54	104,8	42,1		57,5	
1950—1957	73—75	—0,11	204,4	51,2	0,95	246,0	131,8		49,1	
1958—1965	30—34	0,09	206,2	64,7	0,93	405,9	190,4		102,9	
1966—1974	31	0,83	181,8	72,2	0,96	558,2	178,8		118,6	

Уравнения регрессии между ΣU и отдельными компонентами ионного состава

Расчетный период, гг.	Катионы= $f(\Sigma U)$, мг/л		
	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺ +K ⁺
р. Нарын — г. Учкурган			
1930—1943, 1950—1974	0,159 $\Sigma U+1$	0,041 ΣU	0,120 $\Sigma U-16$
р. Сырдарья — к. Каль			
1938—1945	0,164 $\Sigma U+13$	—	—
1950—1957	0,090 $\Sigma U+23$	0,061 $\Sigma U-7$	0,130 $\Sigma U-22$
1958—1965	0,101 $\Sigma U+12$	0,063 $\Sigma U-3$	0,115 $\Sigma U-14$
1966—1974	0,095 $\Sigma U+21$	0,068 $\Sigma U-7$	0,125 $\Sigma U-28$
р. Сырдарья — г. Бекабад			
1937—1945	0,140 $\Sigma U+14$	0,042 ΣU	0,097 $\Sigma U-5$
1967—1974	0,075 $\Sigma U+36$	0,081 $\Sigma U-14$	0,118 $\Sigma U-17$
р. Сырдарья — к. Кокбулак (Тюменьарык)			
1938—1945	0,134 $\Sigma U+21$	—	0,116 $\Sigma U-33$
1950—1957	—	0,070 $\Sigma U-14$	0,173 $\Sigma U-49$
1958—1965	0,057 $\Sigma U+40$	0,059 $\Sigma U-6$	0,175 $\Sigma U-35$
1967—1974	0,042 $\Sigma U+53$	0,041 $\Sigma U+15$	0,241 $\Sigma U-107$
р. Сырдарья — г. Казалинск			
1938—1945	—	—	—
1950—1957	0,053 $\Sigma U+46$	—	0,153 $\Sigma U-27$
1958—1965	—	0,060 $\Sigma U-10$	0,212 $\Sigma U-72$
1966—1974	0,039 $\Sigma U+54$	0,057 $\Sigma U-4$	0,211 $\Sigma U-65$

Расчетный период, гг.	Анионы= $f(\Sigma U)$ мг/л		
	HCO ₃ [']	SO ₄ ^{''}	Cl [']
р. Нарын — г. Учкурган			
1938—1943, 1950—1974	0,277 $\Sigma U+53$	0,323 $\Sigma U-26$	0,000 550 $\Sigma U^2-0,205 \Sigma U+29$
р. Сырдарья — к. Каль			
1938—1945	—	0,463 $\Sigma U-87$	0,000 037 $\Sigma U^2+0,035 \Sigma U$
1950—1957	0,136 $\Sigma U+110$	0,504 $\Sigma U-90$	0,000 115 $\Sigma U^2-0,027 \Sigma U+7$
1958—1965	0,121 $\Sigma U+94$	0,511 $\Sigma U-77$	0,085 $\Sigma U-11$
1966—1974	0,072 $\Sigma U+125$	0,521 $\Sigma U-86$	0,000 022 $\Sigma U^2+0,060 \Sigma U-4$
р. Сырдарья — г. Бекабад			
1937—1945	0,132 $\Sigma U+109$	0,465 $\Sigma U-81$	0,000 006 $\Sigma U^2+0,085 \Sigma U-10$
1967—1974	0,097 $\Sigma U+94$	0,500 $\Sigma U-56$	0,000 041 $\Sigma U^2+0,006 \Sigma U+39$
р. Сырдарья — к. Кокбулак (Тюменьарык)			
1938—1945	—	0,461 $\Sigma U-89$	0,000 030 $\Sigma U^2+0,070 \Sigma U-13$
1950—1957	—	0,585 $\Sigma U-141$	0,000 046 $\Sigma U^2+0,064 \Sigma U-11$
1958—1965	—	0,563 $\Sigma U-123$	0,000 077 $\Sigma U^2-0,012 \Sigma U+30$
1967—1974	—	0,469 $\Sigma U-18$	0,000 067 $\Sigma U^2+0,007 \Sigma U+20$
р. Сырдарья — г. Казалинск			
1938—1945	0,378 $\Sigma U+40$	—	0,000 067 $\Sigma U^2+0,102 \Sigma U-27$
1950—1957	—	0,608 $\Sigma U-177$	0,000 080 $\Sigma U^2+0,029 \Sigma U-14$
1958—1965	—	0,589 $\Sigma U-191$	0,000 046 $\Sigma U^2+0,039 \Sigma U+10$
1966—1974	—	0,458 $\Sigma U-14$	0,000 025 $\Sigma U^2+0,102 \Sigma U-30$

Ионный состав воды р. Сырдарьи на разных уровнях водохозяйственного развития, мг/л

Расчетный период, гг.	Вегетационный период									Невегетационный период						
	ΣU	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺ +K ⁺	HCO ₃ [']	SO ₄ ^{''}	Cl [']	$\Sigma U_{\text{в}}$	ΣU	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺ +K ⁺	HCO ₃ [']	SO ₄ ^{''}	Cl [']	$\Sigma U_{\text{в}}$
р. Нарын, г. Учкурган																
1938—1945	212	35	9	9	112	42	10	217	349	56	14	26	150	87	24	357
1950—1957	254	41	10	14	123	56	12	256	350	57	14	26	150	87	24	358
1958—1965	235	38	10	12	118	50	11	239	331	54	14	24	145	81	21	339
1966—1974	225	37	9	11	115	47	11	230	335	54	14	24	146	82	21	341
р. Сырдарья, к. Каль																
1938—1945	435	84	16	18	196	114	22	450	532	100	16	18	196	159	29	518
1950—1957	485	67	23	41	176	154	21	482	600	77	30	56	192	212	32	599
1958—1965	565	69	33	51	162	212	37	564	710	84	42	68	180	286	49	709
1966—1974	555	74	31	41	165	203	36	550	725	90	42	63	177	292	52	716
р. Сырдарья, г. Бекабад																
1938—1945	405	71	17	34	162	107	25	416	645	104	27	58	194	219	47	649
1966—1974	975	109	65	98	188	432	79	971	1155	123	80	119	206	522	95	1145
р. Сырдарья, к. Кокбулак (Тюменьарык)																
1938—1945	470	84	20	22	207	128	26	487	598	101	20	36	207	187	40	591
1950—1957	608	87	29	56	174	215	45	606	690	87	34	70	174	263	55	683
1958—1965	840	88	44	112	174	350	74	842	772	81	40	100	174	312	67	774
1966—1974	945	93	54	121	166	425	87	946	1130	100	61	165	166	512	114	1118
р. Сырдарья, г. Казалинск																
1950—1957	665	81	28	75	204	227	32	647	720	84	28	83	204	261	48	70
1958—1965	1030	95	52	146	206	416	99	1014	910	95	45	121	206	345	83	89
1966—1974	1240	102	67	197	182	554	135	1237	1420	109	77	235	182	636	165	140

глядным, если концентрацию исследуемых ионов в зоне использования стока нормировать по содержанию соответствующих ионов (за расчетные периоды) в естественных условиях (табл. 6.9).

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. Нарын (г. Учкурган), которая несет основную массу жидкого стока р. Сырдарьи.

Из анализа ионного состава воды р. Сырдарьи за одинаковые расчетные периоды времени следует, что концентрация всех ионов увеличивается по длине реки.

Из катионной группы наиболее интенсивно возрастают $\text{Na}^+ + \text{K}^+$. В среднем за вегетацию 1966—1974 гг. концентрация этих ионов в Бекабаде почти в 9 раз была выше, чем в зоне формирования стока, а в Казалинске — в 18 раз.

Менее интенсивно нарастает по длине реки содержание Mg^{++} и еще медленнее — Ca^{++} (табл. 6.9). Концентрация последних элементов растет в основном до Бекабада, а затем практически остается постоянной.

Из анионной группы наиболее резко увеличивается по длине реки содержание SO_4^{--} и Cl^- , а концентрация HCO_3^- по длине реки не меняется (табл. 6.9).

Изменения ионного состава по длине реки были минимальны на первом из исследуемых этапе и резко увеличились в последующие, что говорит о нарастающем воздействии антропогенных факторов на гидрохимический режим реки в зоне использования стока.

Наиболее существенно изменяется во времени (в пределах одного створа) концентрация ионов $\text{Na}^+ + \text{K}^+$, Mg^{++} , SO_4^{--} и Cl^- . Содержание иона Cl^- в вегетационный период в современных условиях (1966—1974 гг.) относительно среднего за 1938—1945 гг., условно принятого за естественное состояние, возросло в Кале в 1,6, в Бекабаде в 3,2 и в Тюменьарыке в 3,3 раза. Это подтверждает выводы Н. П. Гнусина [35], согласно расчетам которого увеличение содержания иона Cl^- под влиянием антропогенных факторов на реках Советского Союза к 2000 г. составит 4 и более раза.

Содержание иона Ca^{++} во времени увеличивается несущественно, а HCO_3^- даже несколько уменьшается (табл. 6.9).

Естественно, что влияние антропогенных факторов на ионный состав воды сказывается сильнее в вегетационный период, чем в невегетационный. Поэтому в последний он меняется по длине реки и во времени существенно слабее, чем в первый. Однако общая закономерность сохраняется и в этот период.

Еще более значительные изменения в ионном составе воды по длине реки и во времени наблюдаются в маловодные годы. Так, в вегетационный период маловодного 1974 г. концентрация $\text{Na}^+ + \text{K}^+$ в створах Каль, Бекабад, Тюменьарык и Казалинск увеличилась

Изменение ионного состава воды р. Сырдарьи на разных уровнях водохозяйственного строительства относительно естественного состояния (Нарын, Учкурган)

Створ	Расчетный период, гг.	Вегетационный период						Невегетационный период					
		Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺ +K ⁺	HCO ₃ [']	SO ₄ ^{''}	Cl [']	Ca ⁻	Mg ⁺⁺	Na ⁺ +K ⁺	HCO ₃ [']	SO ₄ ^{''}	Cl [']
к. Каль	1938—1945	2,4	1,8	2,0	1,7	2,2	2,2	1,8	1,1	0,7	1,3	1,8	1,2
	1950—1957	1,6	2,3	2,9	1,4	2,9	1,8	1,4	2,1	2,2	1,3	2,2	1,3
	1958—1965	1,8	3,3	4,2	1,4	4,7	3,4	1,6	3,0	2,8	1,2	3,7	2,3
	1966—1974	2,0	3,4	3,7	1,4	4,3	3,3	1,7	3,0	2,6	1,2	3,6	2,5
г. Бекабад	1938—1945	2,0	1,9	3,8	1,4	2,0	2,5	1,9	1,9	2,2	1,3	2,5	2,0
	1966—1974	2,9	7,2	8,9	1,6	9,2	7,2	2,3	5,7	5,8	1,4	6,4	4,5
к. Кокбулак (Тюменьарык)	1938—1945	2,4	2,2	2,4	1,8	2,4	2,6	1,8	1,4	1,4	1,4	2,1	1,7
	1950—1957	2,1	2,9	4,0	1,4	4,0	3,8	1,5	2,4	2,7	1,2	2,2	2,3
	1958—1965	2,3	4,4	9,2	1,5	7,8	6,7	1,5	2,9	4,2	1,2	4,1	3,2
	1966—1974	2,5	6,0	11,0	1,4	9,0	7,9	1,8	4,4	6,9	1,1	6,2	5,4
г. Казалинск	1950—1957	2,3	2,8	5,4	1,7	4,2	2,7	1,5	2,0	3,2	1,4	2,8	2,0
	1958—1965	2,5	5,2	12,1	1,7	9,2	9,0	1,8	3,2	5,0	1,4	4,4	4,0
	1966—1974	2,8	7,4	17,9	1,6	11,8	12,3	2,0	5,5	9,8	1,2	7,8	7,9

относительно Учкургана в 9, 14, 19 и 24 раза, а Cl' — в 7, 11, 14 и 17 раз.

В пределах каждого створа содержание токсичных ионов в 1974 г. возросло в два раза и более по сравнению с маловодным 1938 г.

По мере хозяйственного использования стока концентрация отдельных ионов возрастает с различной степенью интенсивности, что приводит к изменению их соотношения (табл. 6.10).

В створе с естественным гидрохимическим режимом в катионной группе преобладает Ca^{++} , а в анионной — HCO_3' . Это же соотношение сохраняется и в створах с нарушенным гидрохимическим режимом на первом этапе хозяйственного строительства (1938—1945 гг.), когда доля возвратных вод в стоке была невелика [33]. По мере увеличения доли возвратных вод в стоке реки соотношение ионов резко меняется.

В вегетационные периоды 50-х годов суммарное содержание Mg^{++} и $\text{Na}^+ + \text{K}^+$ в створах Каля и Кокбулака сравнивалось с концентрацией Ca^{++} , а в Казалинске даже превысило ее.

В современных условиях (1966—1974 гг.) в Кале наблюдается некоторое равновесие между Ca^{++} и суммой токсичных катионов (Mg^{++} и $\text{Na}^+ + \text{K}^+$), а в нижележащих створах значительно превалирует последнее.

В невегетационный период токсичные катионы уже в 50-х годах преобладали над Ca^{++} . В анионной группе в створе с естественным гидрохимическим режимом преобладает HCO_3' .

В створе Каля на первом исследуемом этапе (1938—1945 гг.) в невегетационный период содержание токсичных анионов SO_4'' и Cl' приближается к концентрации HCO_3' , а в последующие периоды уже превышает.

В нижележащих створах токсичные анионы преобладают. Аналогичная картина наблюдается и в вегетационный период. Со временем и по длине реки уменьшается относительное содержание Ca^{++} и HCO_3' и возрастает Mg^{++} , $\text{Na}^+ + \text{K}^+$ и SO_4'' , Cl' (табл. 6.10).

Особенно интенсивно увеличивается содержание ионов Na^{++} и SO_4'' , что связано с сульфатно-натриевым засолением земель бассейна в пределах долины [85].

За исследуемый период относительное содержание токсичных ионов в вегетационный период увеличилось в Кале с 38 до 56%, в Бекабаде с 44 до 69, а в Тюменьарыке с 40 до 73%. По длине реки оно возросло с 36 до 56% в среднем за 1950—1957 гг. и с 34 до 77% в среднем за 1966—1974 гг.

Аналогично изменяется ионный состав воды в невегетационный период.

В маловодные годы, когда минерализация воды резко увеличивается, относительное содержание токсичных ионов превышает средний за расчетный период уровень. Так, в исключительно мало-

Ионный состав воды р. Сырдарьи на разных уровнях водохозяйственного строительства в относительных единицах
(на каждые 100 мг/л общей минерализации)

Расчетный период, гг.	Вегетационный период						Невегетационный период					
	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺ +K ⁺	HCO ₃ [']	SO ₄ ^{''}	Cl [']	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺ +K ⁺	HCO ₃ [']	SO ₄ ^{''}	Cl [']
р. Нарын, г. Учкурган												
1938—1945	16,1	4,1	4,1	51,6	19,3	4,6	15,7	3,9	7,3	42,0	24,4	6,7
1950—1957	16,0	3,9	5,5	48,0	21,9	4,7	15,9	3,9	7,3	41,9	24,3	6,7
1958—1965	15,9	4,2	5,0	49,4	20,9	4,6	15,9	4,1	7,1	42,8	23,9	6,2
1966—1974	16,1	3,9	4,8	50,0	20,4	4,8	15,8	4,1	7,0	42,8	24,0	6,2
р. Сырдарья, к. Каль												
1938—1945	18,7	3,6	4,0	43,6	25,3	4,9	19,3	3,1	3,5	37,8	30,7	5,6
1950—1957	13,9	4,8	8,5	36,5	32,0	4,4	12,8	5,0	9,3	32,0	35,4	5,3
1958—1965	12,2	5,8	9,0	28,7	37,6	6,6	11,8	5,9	9,6	25,4	40,3	6,9
1966—1974	13,4	5,6	7,4	30,0	36,9	6,5	12,6	5,9	8,8	24,7	40,8	7,3
р. Сырдарья, г. Бекабад												
1938—1945	17,1	4,1	8,2	38,9	25,7	6,0	16,0	4,2	8,9	29,9	33,7	7,2
1966—1974	11,2	6,7	10,1	19,4	44,5	8,1	10,7	7,0	10,4	18,0	45,6	8,3
р. Сырдарья, к. Кокбулак (Тюменьарык)												
1938—1945	17,2	4,1	4,5	42,5	26,3	5,3	17,1	3,4	6,1	35,0	31,6	6,8
1950—1957	14,4	4,8	9,2	28,7	35,5	7,4	12,7	5,0	10,2	25,5	38,5	8,0
1958—1965	10,4	5,2	13,3	20,7	41,6	8,8	10,5	5,2	12,9	22,5	40,3	8,6
1966—1974	9,8	5,7	12,8	17,5	44,9	9,2	8,9	5,4	14,8	14,8	45,8	10,2
р. Сырдарья, г. Казалинск												
1950—1957	12,5	4,3	11,6	31,5	35,1	4,9	11,9	4,0	11,7	28,8	36,9	6,8
1958—1965	9,4	5,1	14,4	20,3	41,0	9,8	10,6	5,0	13,5	23,0	38,5	9,3
1966—1974	8,2	5,4	15,9	14,7	44,8	10,9	7,8	5,5	16,7	13,0	45,3	11,8

водном 1974 г. доля токсичных ионов в отдельных пробах в створах Тюменьарык и Казалинск колебалась в пределах 75—86%.

В современных условиях в ионном составе воды в области формирования стока преобладают Ca^{++} и HCO_3^- , а в зоне использования стока Mg^{++} , $\text{Na}^+ + \text{K}^+$, SO_4^{--} и Cl^- .

Следовательно, под влиянием хозяйственной деятельности в бассейне р. Сырдарьи произошла «прямая метаморфизация» воды [16] от гидрокарбонатно-кальциевого типа к сульфато-натриевому.

К такому же выводу пришли С. К. Ревина и Н. А. Соловьева [93], анализируя изменение ионного стока рек Амударьи и Сырдарьи за период 1952—1966 гг. Аналогичная картина наблюдается и в других бассейнах рек с развитым орошением [119].

6.4. Солевой сток р. Сырдарьи и его изменение под влиянием водохозяйственного строительства

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

$$I = Q \cdot \Sigma U T, \quad (20)$$

где I — солевой сток реки в исследуемом створе за месяц; Q — средний за месяц расход воды; ΣU — средняя месячная минерализация воды, полученная по кривым $\Sigma U = f(Q)$ с учетом фазы режима и водности реки (глава 6.1); T — число секунд в месяце.

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

Из уравнения (18) следует, что погрешность оценки солевого стока определяется точностью расчета стока и минерализации. Основные трудности возникают при оценке среднемесячной минерализации по весьма ограниченному отбору проб на химический анализ (табл. 6.1).

Согласно проведенным ранее исследованиям [106] для расчета среднемесячной минерализации по кривым $\Sigma U = f(Q)$ с допустимой ошибкой требуется в разных створах и фазах режима реки от 10 до 55 проб на химический анализ. Это требование не всегда выполняется.

В связи с этим могут возникать погрешности в оценке среднемесячной минерализации, а следовательно, и солевого стока, особенно существенные в створах, расположенных в нижних бьефах водохранилищ, где связь $\Sigma U = f(Q)$ в отдельные периоды отсутствует.

В связи с этим интересно сопоставить расчеты среднемесячной минерализации, выполненные двумя методами, описанными выше, (гл. 6.1) и по зависимости ΣU от электропроводности (ρ), разработанной лабораторией озер и водохранилищ САРНИГМИ. В

последнем случае среднемесячное значение минерализации определено по ежедневно наблюдаемым значениям электропроводности.

В отдельные месяцы расхождения в оценках минерализации и солевого стока, полученных по двум методам, могут быть значительными (табл. 6.11).

При удлинении расчетного периода ошибки уменьшаются. Так, солевой сток р. Сырдарьи в Акджаре за 8 месяцев 1976 г., рассчитанный по принятой нами методике, не отличается от эталонного (I_2) метода; за 5 месяцев расхождения составляют 6%, а за 3 месяца — 10% (табл. 6.11). Это позволяет надеяться, что оценки солевого стока реки, приведенные ниже, за сезон и более, близки к действительности.

Солевой сток реки формируется в процессе контактирования водных масс с почвогрунтами бассейна. Поэтому анализ величин его в зоне формирования и использования, а также во времени, позволяет в первом приближении 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 стока и его трансформации на орошаемой территории, рассмотрим его осредненные по пятилетиям значения (табл. 6.12).

Солевой сток из зоны формирования стока, определенный по опорным гидрометрическим постам при выходе их из гор, составляет около 8 млн. т в год (табл. 6.12). Свыше 5 млн. т из них (64%) формируется в бассейнах Нарына и Карадарьи, 1,7 млн. т (21%) приносят в орошаемую зону боковые притоки Сырдарьи в пределах Ферганской долины и 1,2 млн. т (15%) Чирчик и Ахангаран.

Изменчивость этого стока из года в год определяется, главным образом, колебанием водности реки, так как амплитуда средней за сезон минерализации не превышает 150 мг/л.

В многоводные годы солевой сток из области формирования резко увеличивается и уменьшается в маловодные. Амплитуда годового солевого стока составляет около 4 млн. т (табл. 6.12).

Основная масса солей (около 70%) поступает из зоны формирования стока в вегетационный период (табл. 6.12).

В орошаемой зоне вследствие существенной трансформации жидкого стока и его минерализации солевой сток меняется по времени и по длине реки.

О характере этих изменений можно судить, сопоставляя солевой сток р. Сырдарьи в створах Кызылкишлак, Тюменьарык и Казалинск с притоком из области формирования.

В среднем за длительный период водный поток обогащается солями при прохождении его через орошаемую территорию. За период 1950—1975 гг. солевой сток в Кызылкишлаке превышает приток солей из области формирования в 1,9 раза. Интенсивность нарастания солевого стока снижается по мере удаления от области формирования и резко уменьшается в низовьях реки.

Минерализация воды и солевой сток р. Сырдарьи
в створе к. Акджар

Метод оценки	Единица измере- ния	В среднем за										
		II	III	IV	V	VI	VII	IX	X	V-VII	II-IV, IX, X	II- VII, IX-X
$\Sigma U_1 = f(Q)$	мг/л	1260	1350	580	650	1230	2200	1880	1540	496	838	1092
$I_1 = Q \Sigma U_1 T$	тыс. т	1358	1289	1451	1240	970	889	923	845	3099	5866	8965
$\Sigma U_2 = f(p)$	мг/л	1706	1562	706	650	1107	1729	1590	1168	552	788	1092
$I_2 = Q \Sigma U_2 T$	тыс. т	1003	1114	1192	1240	1078	1131	1092	1114	3449	5515	8964

Таблица 6.12

Солевой сток р. Сырдарьи, млн. т

Период осреднения, гг.	Зона формирования			Зона использования			
	По створу р. Сыр- дарьи	Всего до Бекабада	Всего до Кок- булака	к. Каль	к. Кызыл- кишлак*	к. Тю- меньарык*	г. Каза- линск
Ноябрь—апрель							
1940/41—1944/45	3,18	4,31	5,30	3,95	4,62	6,63	
1945/46—1946/50	2,87	3,99	4,71	3,99	5,13	—	
1950/51—1954/55	3,69	5,03	5,90	5,59	6,72	8,20	5,94
1955/56—1959/60	3,51	4,75	5,67	5,45	7,14	7,86	6,77
1960/61—1964/65	2,77	3,77	4,39	4,14	7,06	6,37	3,99
1965/66—1969/70	4,39	5,67	6,21	5,38	10,4	8,25	5,63
1970/71—1974/75	3,57	4,53	5,25	3,78	7,83	7,29	3,04
1940/41—1944/45	1,56	2,04	2,45	2,67	4,57	5,91	
1945/46—1949/50	1,51	2,03	2,45	2,81	5,12	—	
1950/51—1954/55	1,83	2,42	2,91	3,75	5,50	7,60	5,28
1955/56—1959/60	1,67	2,23	2,65	3,88	5,65	7,42	6,20
1960/61—1964/65	1,42	1,88	2,24	3,50	5,12	6,52	5,37
1965/66—1969/70	1,88	2,42	2,90	3,63	7,72	6,22	4,85
1970/71—1974/75	1,66	2,12	2,50	3,27	5,41	5,26	3,62
Ноябрь—октябрь							
1940/41—1944/45	4,74	6,35	7,75	6,63	9,19	12,5	
1945/46—1949/50	4,38	6,02	7,16	6,80	10,2	—	
1950/51—1954/55	5,52	7,45	8,88	9,34	12,2	15,8	11,2
1955/56—1959/60	5,18	6,98	8,32	9,33	12,8	15,3	13,0
1960/61—1964/65	4,19	5,65	6,63	7,64	12,2	12,9	9,36
1965/66—1969/70	6,27	8,09	8,11	9,01	18,1	14,5	10,5
1970/71—1974/75	5,23	6,65	7,75	7,05	13,2	12,6	6,7
1940—1975	5,08	6,75	7,94				
Ноябрь—октябрь							
Максимальные	2,14	2,79	3,32				
значения за весь	5,80	7,50	—				
период	7,71	10,1	—				
Минимальные	1,24	1,64	1,92				
значения за весь	2,26	3,16	3,48				
период	3,70	4,95	6,01				

Примечание. Звездочка показывает, что до 1949/50 г. — данные по ст. Бекабад; с 1950/51 г. — к. Кызылкишлак; 1940/41—1944/45 — к. Кокбулак; 1950/51—1974/75 — к. Тюменьарык.

Так, солевой сток в Тюменьарыке в среднем за тот же период превышает приток с гор в 1,8 раза, а в Казалинске — всего в 1,2 раза. Следовательно, в среднем за длительный период в орошаемой зоне наблюдается вынос солей, наиболее ощутимый в верхнем течении и наименее — в нижнем. Наиболее интенсивно этот процесс происходит в невегетационный период и значительно слабее в вегетационный (табл. 6.13).

Таблица 6.13

Солевой сток р. Сырдарьи в зоне использования относительно притока из области формирования, %

Период осреднения, гг.	Ноябрь—апрель			Май—октябрь			Ноябрь—октябрь		
	к. Кызыл-кишлак	к. Тюмень-арык	г. Казалинск	к. Кызыл-кишлак	к. Тюмень-арык	г. Казалинск	к. Кызыл-кишлак	к. Тюмень-арык	г. Казалинск
1940/41—1944/45	224	241		107	125		145	161	
1945/46—1949/50	252			129			169		
1950/51—1954/55	227	261	181	134	139	101	164	178	126
1955/56—1959/60	253	280	234	150	139	119	183	184	156
1960/61—1964/65	272	291	240	187	145	91	216	195	141
1965/66—1969/70	319	214	167	183	133	91	224	159	115
1970/71—1974/75	255	210	145	173	139	58	198	163	86

В низовьях реки (г. Казалинск) даже в среднем за 25 лет (1950—1975 гг.) в период май—октябрь, как и в начале 40-х годов [126], соли осаждаются в орошаемой зоне (табл. 6.14).

Таблица 6.14

Солевой сток вегетационного периода в процентах от годового

Период осреднения, гг.	Зона формирования		Зона использования		
	к. Кызыл-кишлак	к. Кокбулак	к. Кызыл-кишлак	к. Тюменьарык	г. Казалинск
1940/41—1944/45	68	68	50	53	
1945/46—1949/50	66	66	50		
1950/51—1954/55	68	66	55	52	53
1955/56—1959/60	68	68	56	51	52
1960/61—1964/65	67	66	58	49	43
1965/66—1969/70	70	68	57	57	54
1970/71—1974/75	68	68	59	58	45

Интенсивность нарастания солевого стока в зоне использования относительно притока солей из области формирования меняется не только по длине реки, но и во времени.

Максимальный сезонный и годовой прирост солей в пределах Ферганской долины наблюдался в 60-е годы.

В среднем (условно к. Тюменьарык) и нижнем (г. Казалинск) течении наибольшее увеличение солей в невегетационный период отмечено в первой половине 60-х годов. В последующие годы в связи с резким увеличением водозабора из реки (табл. 2.6) вынос солей за пределы орошаемой зоны уменьшается.

В вегетационный период солевой сток относительно притока с гор в створе к. Тюменьарык практически не изменился, а в Казалинске резко уменьшился и с 60-х годов стал отрицательным.

В целом за год солевой сток р. Сырдарьи на выходе из орошаемой зоны (условно г. Казалинск) превышает приток солей с гор на 15—56% (табл. 6.13), а в 70-е годы меньше последнего на 14%. Следовательно, лишь в последние годы в связи с затянувшимся маловодьем часть солей из зоны формирования аккумуляровалась в зоне использования.

Внутри орошаемой зоны наблюдается существенное перераспределение солей во времени и по территории.

Из табл. 6.12 следует, что на участке Каль—Кызылкишлак поток обогащается солями в течение всего рассматриваемого периода. На следующем участке реки, замыкаемом к. Тюменьарыком, солевой сток увеличивается до конца 50-х годов в вегетационный период и до начала 60-х годов в невегетационный период. На нижнем участке реки, замыкаемом постом Казалинск, солевой сток уменьшается (табл. 6.12), т. е. часть солей оседает на территории низовой р. Сырдарьи. Очевидно, не все эти соли концентрируются в почвогрунтах и грунтовых водах. Некоторое количество из них выносится по коллекторам и концентрируется в бессточных понижениях на границе орошаемой зоны или (существенно меньше) уходит в минеральную часть урожая и отводится за пределы орошаемых массивов потоком грунтовых вод.

Однако уменьшение солевого стока р. Сырдарьи на участке Тюменьарык—Казалинск настораживает, так как говорит о возможности засоления территории и, следовательно, необходимости тщательного изучения ее водносолевого баланса.

Одновременно с перераспределением солевого стока по длине реки происходит изменение его концентрации во времени (табл. 6.14).

Если в зоне формирования в вегетационный период концентрируется 66—68% солевого стока, то на выходе из Ферганской долины 50—61%, а в Казалинске — 43—56% (табл. 6.14).

Выводы

1. Примененный прием перехода от единичных измерений химического состава воды к средним месячным и среднесезонным значениям минерализации позволил исследовать сопостави-

мые (во времени и по длине реки) характеристики гидрохимического режима.

2. Корреляционный анализ изменчивости среднесезонной и среднемесячной минерализации показал, что в зоне интенсивного использования стока гидрохимический режим не зависит от притока солей с гор, а полностью определяется антропогенными факторами.

3. В качестве интегрального показателя водохозяйственного строительства предложен коэффициент изъятия стока, характеризующий соотношение в стоке реки 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 в прогностическом плане 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 воздействие природных.

6. Водохозяйственное строительство в бассейне р. Сырдарьи, 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. Полученные уравнения регрессии концентрации отдельных ионов от их суммы позволили установить, что рост минерализации сопровождается увеличением доли токсичных ионов (Mg^{++} , Na^+ , SO_4^{--} , Cl^-) по длине реки и во времени, а также от многоводных лет к маловодным.

Хозяйственная деятельность в бассейне р. Сырдарьи привела к «прямой метаморфизации» воды от гидрокарбонатно-кальциевого типа к сульфатно-натриевому.

8. Под влиянием водных мелиораций солевой сток реки перераспределяется во времени и по территории.

В среднем за длительный период в орошаемой зоне наблюдается вынос солей, наиболее ощутимый в верхнем течении и наименее — в нижнем. В последние годы в низовьях происходит аккумуляция солей. Интенсивность нарастания солевого стока в зоне использования стока меняется под влиянием хозяйственной деятельности во времени и по длине реки. Одновременно с перераспределением солевого стока по территории происходит изменение его концентрации во времени.

КОЛИЧЕСТВЕННАЯ ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОГО ИЗМЕНЕНИЯ СТОКА В БАССЕЙНЕ р. СЫРДАРЬИ ПРИ ОСУЩЕСТВЛЕНИИ В ПЕРСПЕКТИВЕ ВОДОХОЗЯЙСТВЕННЫХ МЕРОПРИЯТИЙ

Сток р. Сырдарьи уже в современных условиях существенно трансформируется в пределах орошаемой территории. В перспективе в связи с увеличением темпов ирригационного строительства этот процесс усилится.

Следовательно, рациональное использование водных ресурсов в перспективе невозможно без учета изменений в стоке рек и их режиме под влиянием антропогенных факторов.

Речной сток — это нестационарный процесс с существенными ближними и дальними внутрирядными связями, определяющими существование внутривековых, а в некоторых бассейнах и вековых, циклов колебания стока [12, 43, 58, 116].

В бассейне р. Сырдарьи и его отдельных составляющих норма стока, вычисленная по разным периодам, отличающимся по степени активности, может различаться на 4—13,5% [36].

Следовательно, прогноз изменения стока на перспективу в связи с осуществлением комплекса водохозяйственных мероприятий необходимо давать на фоне сверхдолгосрочного прогноза притока из области формирования стока.

Однако современные методы сверхдолгосрочного прогнозирования [12—14, 43], основанные на зависимости гидрометеорологических условий формирования стока от преобладающих типов атмосферной циркуляции, дают скорее качественную, чем количественную оценку перспективных водных ресурсов.

При существующей достоверности этих прогнозов предполагаемое превышение водных ресурсов в период 1970—2000 гг. над их современной величиной (2—3%,) вероятно, лежит в пределах точности расчетов стока. Следовательно, в первом приближении можно считать, что природные факторы формирования стока в перспективе не будут существенно отличаться от современных.

Влияние антропогенных факторов на условия формирования стока в Средней Азии, где четко разграничиваются области формирования стока и его использования, также не может быть значительным (гл. 1).

В ближайшей перспективе при использовании местных водных ресурсов условия формирования стока в горах останутся, видимо, без существенных перемен, и изменение стока, его режима и качества будет определяться процессами, происходящими в зоне потребления воды.

Принципиально возможно два пути прогнозирования изменений стока в перспективе. Можно использовать для этой цели уравнения множественной регрессии, полученные на материале прошлых лет, связывающие сток в замыкающем створе реки с важнейшими антропогенными факторами или их интегральной характеристикой. Практически очень трудно при современной изученности водного режима орошаемой территории оценить влияние на сток отдельных антропогенных факторов. Их интегральная характеристика имеет смысл, только если влияние всего комплекса водохозяйственных мероприятий однозначно, т. е. если мероприятия направлены либо на убыль стока (орошение засушливых земель), либо его увеличение (дренирование заболоченных земель).

Однако и в этом случае уравнения регрессии, полученные на материале прошлых лет, могут быть использованы для прогноза на перспективу лишь при неизменности условий трансформации стока (способа орошения, КПД оросительных систем, оросительных норм, степени дренированности территории и т. д.).

Более строгим с научной точки зрения является метод водного баланса территории, позволяющий 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. Поэтому решение уравнения водного баланса территории, составляемого на разные уровни водохозяйственного строительства (при разных площадях, составах культур, КПД систем, способах орошения и т. д.), является наиболее правильным способом прогнозирования. Однако недостаток надежной информации о водном режиме орошаемых земель позволяет использовать этот метод лишь с некоторыми допущениями.

Вода, забираемая из реки в ирригационные системы, частично расходуется в их пределах, а частично возвращается в реку в виде возвратных вод.

Следовательно, оценка изменения стока реки в перспективе сводится к прогнозу изъятия стока из реки и возврата в нее воды с орошаемых массивов.

Изъятие стока из реки складывается из ирригационного водопотребления, определяемого размером орошаемых площадей и оросительных норм-брутто, безвозвратного промышленно-коммунального водопотребления и затрат стока, связанных с созданием водохранилищ.

Земельный фонд, пригодный для орошения в бассейне р. Сырдарьи, составляет 13,4 млн. га; из них собственными водными ресурсами обеспечены 3,3 млн. га [52].

В 1975 г. в бассейне р. Сырдарьи (без бассейна р. Арысь и мелких горных источников, не влияющих на сток р. Сырдарьи) орошалось свыше 2,4 млн. га.

Следовательно, на стоке р. Сырдарьи возможен прирост орошаемых земель в размере около 900 тыс. га.

Предполагается, что к 1980 г. орошаемые площади возрастут относительно 1975 г. к створу г. Бекабад на 10%, к Кокбулаку на 18% и к Казалинску — на 20%. К 1985 г. орошаемые земли к тем же створам увеличатся соответственно на 15, 30 и 35%.

Одновременно планируется проведение ряда мероприятий по повышению КПД ирригационных систем и снижению оросительных норм, в результате которых удельный водозабор-брутто сократится к 1980 г. на 21—41% в верхнем и нижнем течении и на 9% — в среднем; на уровне 1985 г. водозабор-брутто уменьшится соответственно на 32—45 и 11%. В связи с этим, несмотря на значительное расширение орошаемых земель, изъятие стока в бассейне р. Сырдарьи выше створа г. Бекабад на уровне 1980 г. повысится несущественно относительно современного, а к 1985 г. понизится.

К створу к. Кокбулак суммарный водозабор из поверхностных вод увеличится на 6—7%, а в целом по бассейну (г. Казалинск) — на 4—7% (табл. 7.1).

Уменьшение оросительных норм и повышение КПД ирригационных систем потребует прежде всего реконструкции оросительной и дренажной сети, улучшения качества планировки, повышения техники полива и других мероприятий, направленных на экономию воды. Практика водохозяйственного строительства показывает, однако, что коренная реконструкция существующих ирригационных систем — это сложное и дорогостоящее мероприятие, которое с трудом претворяется в жизнь. В связи с этим планируемые мероприятия по экономии воды могут быть осуществлены не в полной мере и отъем воды из Сырдарьи увеличится более существенно (табл. 7.1). В этом случае коэффициент изъятия годового стока будет существенно выше современного его значения в крайне маловодные годы (табл. 2.6). В связи с этим вряд ли возможен ввод всех планируемых орошаемых площадей без существенной реконструкции водного хозяйства региона.

Сток, забранный из реки, расходуется в пределах ирригационных районов на:

- 1) суммарное испарение с орошаемых полей и внутрисистемных перелогов;
- 2) аккумуляцию влаги в почвогрунтах в случае глубокого залегания грунтовых вод и слабой естественной дренированности территории;
- 3) наполнение водохранилищ;
- 4) испарение с поверхности водохранилищ;
- 5) испарение с водной поверхности каналов и коллекторов;
- 6) аккумуляцию коллекторно-дренажных вод в бессточных впадинах и понижениях (типа Арнасайских и Сарыкамышских озер) и последующее испарение их;
- 7) безвозвратное промышленно-коммунальное водопотребление.

Изъятие стока (км³/год) из реки Сырдарьи и ее притоков в пределах ирригационных районов в современных условиях и перспективе

Ирригационный район и замыкающий его створ	Современное (1971—1975 гг.)	При осуществлении планируемых меро- приятий по снижению удельного водозабора-брутто				При сохранении современного удельного водозабора-брутто			
		на ирригационные и промышленно-комму- нальные нужды		то же с учетом потребностей водохранилищ		на ирригационные и промышленно-ком- мунальные нужды		то же с учетом потребностей водохранилищ	
		1980	1985	1980	1985	1980	1985	1980	1985
Ферганская долина, г. Бекабад	18,8/19,36	16,65	15,52	20,08	18,45	21,4	22,2	24,83	25,13
ЧАКИР, устьевые створы	5,60/5,73	5,17	5,44	5,30	5,57	7,05	7,94	7,18	8,07
Всего в верхней зоне	24,4/25,09	21,82	20,96	25,38	24,02	28,45	30,14	32,01	33,20
Среднее течение	7,25	9,16	10,33	9,16	10,33	10,0	11,6	10,0	11,6
Всего до створа к. Кокбулак	31,65/32,34	30,98	31,29	34,54	34,35	38,45	41,74	42,01	44,80
Нижнее течение	7,25/7,94	6,52	8,15	7,21	8,84	10,95	14,75	11,64	15,44
Всего до створа г. Казалинск	38,9/40,28	37,5	39,4	41,8	43,2	49,4	56,5	53,6	60,2
Коэффициент изъятия стока выше створа г. Казалинска в год средней водности	1,14/1,18	1,10	1,15	1,22	1,27	1,44	1,65	1,57	1,76

Примечание. В знаменателе приведены данные с учетом потерь на испарение в водохранилищах.

Потери на испарение с водной поверхности каналов не превышают 1% водозабора [47, 79, 134] и в первом приближении ими можно пренебречь.

Затраты стока, связанные с сооружением водохранилищ, состояются из единовременных (первоначальное заполнение до проектной отметки) и ежегодных (испарение с водной поверхности). Первая величина связана с объемом водохранилища, а вторая с площадью его зеркала и термическим режимом.

Ежегодная убыль стока, связанная с первоначальным накоплением воды в водохранилищах, определяется интенсивностью их заполнения, а последняя в значительной мере — водностью лет.

Если заполнение водохранилищ растянется до 1985 г. (в случае серии маловодных и средних по водности лет), то затраты этого вида составят в 1980 г. 2,7, а в 1985 г. — 2,2 км³.

Естественно, если заполнение водохранилищ будет происходить более интенсивно, то ежегодные затраты стока будут выше.

Испарение с поверхности существующих, строящихся и проектируемых водохранилищ определено по данным лаборатории озер и водохранилищ САРНИГМИ в размере 1,55 км³/год.

Безвозвратное промышленно-коммунальное водопотребление [52] сосредоточено в основном в верхней зоне бассейна р. Сырдарьи. В целом по бассейну этот вид затрат стока составляет в перспективе 2,3 км³/год, что существенно меньше ирригационного водопотребления.

Последнее складывается из суммарного испарения с орошаемых полей и внутрисистемных перелогов и затрат стока на аккумуляцию в почвогрунтах при орошении территорий с глубоким (до начала орошения) залеганием уровня грунтовых вод и плохой естественной дренированностью [101].

Освоение целинных земель предполагается осуществить в Голодной и Джизакской степях, ЧАКИРе и Ферганской долине. Предыдущие исследования [104] показали, что в Голодной степи свободная емкость почвогрунтов к 1980 г. будет заполнена, и затраты стока на аккумуляцию в них будут сведены до минимума.

Развитие орошения на территории Джизакской степи до 1985 г. планируется на землях с высоким стоянием грунтовых вод и хорошо развитым искусственным дренажом. Поэтому орошение этого района не будет сопровождаться аккумуляцией влаги в почвогрунтах.

В Центральной Фергане и Кокаральской степи имеются земли с глубоким уровнем залегания грунтовых вод. Однако наряду с этими массивами в Ферганской долине и ЧАКИРе есть земли с близким залеганием грунтовых вод, освоение которых приведет к увеличению стока коллекторно-дренажных вод.

В связи с этим в первом приближении можно считать, что расширение орошаемых земель в Ферганской долине и ЧАКИРе не приведет к существенным затратам стока на аккумуляцию в почвогрунтах.

Можно, вероятно, также считать, что этот вид затрат стока не будет существенным в других ирригационных районах.

Затраты стока на суммарное испарение с орошаемых полей определяются их размером, составом выращиваемых культур и их удельным водопотреблением. Последнее довольно стабильно во времени, хотя и наблюдается некоторая тенденция к его снижению в ряде ирригационных районов (табл. 3.1).

Уменьшение удельного испарения по мере расширения орошаемых площадей связано с существованием оазисного эффекта при орошении [1, 21, 64, 72, 111].

Согласно исследованиям ГГИ [129] испарение с орошаемых земель в перспективе за счет оазисного эффекта и улучшения мелиоративного состояния земель может уменьшиться на 10% относительно современного.

В среднем за 1966—1975 гг. испарение с комплексного орошаемого гектара в пределах ирригационных районов составляет 10,0—10,7 тыс. м³. При этом затраты речного стока на испарение (т. е. испарение за вычетом атмосферных осадков) равны 6—9,1 тыс. м³/га.

В перспективе при уменьшении удельного испарения на 10% затраты речного стока на испарение с орошаемых полей составят 5,0—8,2 тыс. м³/га (табл. 7.2). Эти данные положены в основу дальнейших расчетов.

Таблица 7.2

Испарение с орошаемых массивов в бассейне р. Сырдарьи

Ирригационный район	Затраты стока на испарение в перспективе						
	Удельные, тыс. м ³ /га	Суммарные затраты на испарение с орошаемых полей, км ³ /год		Затраты стока на испарение с перелогов, км ³ /год		Суммарные затраты стока на испарение с массива, км ³ /год	
		1980—1985	1980	1985	1980	1985	1980
Ферганская долина	6,52	8,22	8,54	0,41	0,43	8,63	8,97
ЧАКИР	5,00	2,26	2,58	0,11	0,13	2,37	2,71
Верхняя зона		10,48	11,12	0,52	0,56	11,0	11,68
Среднее течение	5,72	4,30	4,99	0,21	0,25	4,51	5,24
Нижнее течение	8,27	2,52	3,39	0,12	0,17	2,64	3,56
Всего в бассейне						18,15	20,48

Надо полагать, что в перспективе КЗИ внутри хозяйств будет не менее 0,9, т. е. внутрихозяйственные перелогы будут занимать

не более 10% площади массива. Испарение с их поверхности принято равным 0,5 от испарения с орошаемого поля [49].

Суммарные затраты стока на испарение с орошаемых массивов составят в 1980—1985 гг. 18—21 км³/год.

Оценивая изменения в стоке р. Сырдарьи на перспективу, мы исходили из того, что сток реки будет хорошо зарегулирован. Однако до введения в строй основных регулирующих емкостей колебания стока от года к году могут быть значительными. Водность лет существенно отражается на условиях трансформации стока на орошаемой территории. Поэтому прогноз на перспективу составлен для лет 25, 50 и 75%-ной обеспеченности (в области формирования стока).

При осуществлении всех планируемых мероприятий по повышению КПД систем и снижению оросительных норм существенно меняются условия трансформации стока, и, следовательно, наиболее обоснованным способом прогнозирования его изменений является метод водного баланса территории, хотя бы в его упрощенном виде.

Предполагается, что при хорошо развитом дренаже избыток воды над суммарным испарением расходуется на формирование стока возвратных вод (7.1), а убыль стока определяется величиной суммарного испарения, затратами, связанными с сооружением водохранилищ и безвозвратным промышленно-коммунально-бытовым водопотреблением (7.2):

$$Y_{\text{воз}} = Y_{\text{вод}} - E'_c, \quad (21)$$

$$P = E'_c + E'_в + W_в + P_{\text{п}}, \quad (22)$$

где $Y_{\text{воз}}$ — сток возвратных вод; $Y_{\text{вод}}$ — суммарный водозабор в каналы; E'_c — суммарное испарение с орошаемых полей и внутри-системных перелогов за вычетом атмосферных осадков; P — суммарные затраты стока; $E'_в$ — испарение (за вычетом осадков) с поверхности водохранилищ; $W_в$ — затраты стока, связанные с заполнением водохранилищ; $P_{\text{п}}$ — безвозвратное промышленное и коммунально-бытовое водопотребление.

Разность между притоком ($Y_{\text{п}} + V_{\text{п}}$) на исследуемую территорию из области формирования стока и затратами его P в первом приближении можно принять равной оттоку Y_0 через замыкающий створ:

$$Y_0 = Y_{\text{п}} + V_{\text{п}} - P, \quad (23)$$

Отношение

$$\frac{Y_{\text{воз}}}{Y_0} = \frac{Y_{\text{вод}} - E'_c}{Y_{\text{п}} + V_{\text{п}} - P} \quad (24)$$

характеризует долю возвратных вод в стоке реки.

В табл. 7.3, 7.4 приведены примеры расчета изменения стока в пределах Ферганской долины и ЧАКИРа в год средней водности. Аналогичные расчеты сделаны для лет повышенной и пониженной водности.

В маловодные годы в связи с возникающим дефицитом воды в среднем течении Токтогульское и Андижанское водохранилища могут наполняться лишь частично.

Таблица 7.3

Изменение стока р. Сырдарьи в пределах Ферганского ирригационного района в год средней водности на уровне 1980—1985 гг.

Прогнозируемый элемент	Единицы измерения	На уровне	
		1980	1985
Суммарный приток из области формирования	км ³ /год	26,2	26,2
Затраты, связанные с водохранилищами и промышленно-коммунальным водопотреблением (условно выше Кайраккума)	»	3,86	3,36
Затраты стока на испарение с полей и перелогов	»	8,63	8,97
Всего затраты стока (условно выше Кайраккума)	»	12,49	12,33
Сток р. Сырдарьи (условно выше Кайраккума)	»	13,7	13,9
Водозабор на орошение	»	15,66	14,53
Возвратный сток ($u_{\text{вод}} - E'_c$)	»	7,03	5,56
Доля возвратных вод при входе в Кайраккумское водохранилище	%	51	40
Потери на испарение в Кайраккумском водохранилище	км ³ /год	0,56	0,56
в том числе возвратных вод	»	0,29	0,22
Сток р. Сырдарьи в створе г. Бекабад	»	13,1	13,3
в том числе возвратных вод	»	6,7	5,3
Доля возвратных вод в створе г. Бекабад	%	51	40

При расчетах убыли стока условно принято, что в такие годы интенсивность заполнения этих водохранилищ составит 50% по сравнению с годами средней водности.

Таблица 7.4

Изменение стока за пределы ЧАКИРа на уровне 1980--1985 гг., км³/год

Прогнозируемый элемент	На уровне	
	1980	1985
Суммарный приток из области формирования	8,82	
Затраты, связанные с водохранилищами и промышленно-коммунальным водопотреблением	1,04	
Затраты стока на испарение с полей и перелогов	2,37	2,71
Всего затраты стока	3,41	3,75
Сток в замыкающем створе	5,41	5,07
Водозабор на орошение	4,26	4,53
Возвратный сток ($u_{\text{вод}} - E'_c$)	1,89	1,82
Доля возвратных вод в стоке через замыкающие створы	35	36

Возвратный сток за пределы ирригационных районов среднего течения, полученный по разности водозабора на орошение и испарения с полей и перелогов, составит в перспективе 4,4—4,8 км³/год (табл. 7.5). Однако лишь часть его вернется в русло Сырдарьи, а основная масса (из Джизакской и большей части Голодной степи) будет сбрасываться в Арнасайское понижение.

В первом приближении можно принять, что возвратный сток распределяется между водоприемниками пропорционально подвешенным к ним площадям.

Убыль стока р. Сырдарьи, связанная с орошением ирригационных районов среднего течения, будет равна разности между суммарным изъятием стока и возвратом его в р. Сырдарью (табл. 7.5).

Если в перспективе сток возвратных вод из Арнасайской котловины будет перекачиваться в Сырдарью, то убыль стока соответственно уменьшится.

Сток р. Сырдарьи в створе Кокбулака, замыкающем всю хлопководческую зону, складывается из транзитного стока из Ферганской долины и ЧАКИРа, стока возвратных вод из Голодной и Дальверзинской степей и руслового выклинивания на участке Бекабад—Кокбулак.

Транзитный сток из Ферганской долины на перспективу оценен по разности прогнозируемого оттока из долины и водозабора в Голодную, Дальверзинскую и Джизакскую степи.

Расчет убыли стока в ирригационных районах среднего течения
р. Сырдарьи и стока возвратных вод за их пределы
на уровне 1980—1985 гг., км³/год

Прогнозируемый элемент	На уровне	
	1980	1985
Суммарное изъятие стока	9,16	10,33
в т. ч. для орошения	8,90	10,07
Испарение с массива за вычетом атмо- сферных осадков	4,51	5,24
Возвратный сток	4,39	4,83
в т. ч. в Сырдарью	1,23	1,16
в Арнасай	3,16	3,67
Убыль стока (изъятие за вычетом возврат- ного стока в Сырдарью)	7,93	9,17

Естественный сток, поступающий транзитом из Ферганской долины к створу Кокбулака, определен по уравнению

$$(1 - \alpha_{\text{воз}}) (Y_0 - Y_{\text{вод}}), \quad (25)$$

а сток возвратных вод по

$$\alpha_{\text{воз}} (Y_0 - Y_{\text{вод}}), \quad (26)$$

где $\alpha_{\text{воз}}$ — доля возвратных вод в створе Бекабада; Y_0 — суммарный сток в этом створе; $Y_{\text{вод}}$ — суммарный водозабор в этом створе.

Аналогично оценен приток из ЧАКИРа. Сток возвратных вод из Голодной и Дальверзинской степей рассчитан на перспективу, исходя из водного режима исследуемых территорий (табл. 7.5).

В пределах нижнего течения р. Сырдарьи коллекторный сток сбрасывается в русло реки в очень незначительном количестве, главным образом, из Кызылкумского и Арысь-Туркестанского ирригационных районов. Из первого района коллекторный сток в среднем за 1971—1975 гг. составил около 0,38 км³/год, а из второго (ГМС Шаульдер) — 0,46 км³/год. При расчетах на перспективу предполагали, что территория ирригационных районов покрыта развитой коллекторно-дренажной сетью, отводящей излишки воды в русло р. Сырдарьи. Тогда убыль стока в пределах нижнего течения будет определяться величиной затрат на испарение с поверхности орошаемых полей, перелогов и Чардаринского водохранилища.

Таблица 7.6 иллюстрирует изменение стока р. Сырдарьи на уровне 1980—1985 гг. при различном притоке с гор.

Изменение среднегодового стока в бассейне р. Сырдарьи в годы различной водности в современных условиях и на уровне 1980—1985 гг.

Река, створ	Расчетный уровень, гг.	Сток в замыкающем створе при притоке из области формирования, обеспеченном на					
		25 %		50 %		75 %	
		км ³ /год	%	км ³ /год	%	км ³ /год	%
р. Сырдарья	1925/26—1938/39	22,1		18,1		15,0	
г. Бекабад	1939/40—1957/58	21,6	28	17,8	34	14,7	42
	1958/59—1974/75	19,1	32	15,1	40	12,0	51
	1980	16,7	41	13,1	51	10,8*	62
	1985	16,9	32	13,3	40	10,7*	49
р. Сырдарья	1924/25—1938/39	28,5		23,8		18,5	
к. Кокбулак	1939/40—1957/58	27,7	36***	23,1	41***	17,7	52***
	1958/59—1974/75	20,9	52	18,3	61	15,2	76
	1980	15,8	39	10,6	48	6,74	61
	1985	14,4	35	9,23	45	5,09	62
р. Сырдарья	1939/40—1957/58	17,3		15,1		12,4	
г. Казалинск	1958/59—1974/75	10,9		9,4		7,5	
	1980	12,3	57	7,1	75	3,2**	100
	1985	10,0	64	4,8	96	0,7**	100
ЧАКИР	1925/26—1938/39	8,19		6,43		4,66	
Устьевые	1939/40—1953/54	8,13		6,23		4,50	
створы	1954/55—1974/75	6,90	31	5,29	38	3,69	51
	1980	6,99	27	5,41	35	3,87	49
	1985	6,65	27	5,07	36	3,53	52

* При условии, что Токтогульское и Андижанское водохранилища будут заполняться с пониженной интенсивностью. ** При многократном использовании возвратных вод. *** Среднее за 1950/51—1956/57 гг.

Предполагаемое увеличение орошаемых площадей в бассейне р. Сырдарьи при осуществлении мероприятий по повышению КПД ирригационных систем и снижению оросительных норм вызовет уменьшение стока относительно современного (табл. 7.6, 7.7). Лишь отток за пределы ЧАКИРа в перспективе практически не изменится, а в створе г. Казалинска в многоводные годы начала 80-х годов даже увеличится.

Наиболее существенно сток уменьшится в среднем и нижнем течении. В створе к. Кокбулак в год средней водности сток сократится относительно современного уровня на 8—9 км³/год против 5 км³/год на предшествующем этапе (табл. 7.6). Столь резкое уменьшение стока в перспективе в этом створе связано прежде всего с затратами его в среднем течении, где предполагается изъять из реки 9,2—10,3 км³ воды в год. Из этого количества лишь 1,2 км³ вернутся в Сырдарью по коллекторам Голодной и Дальверзинской степей.

Если в перспективе хотя бы часть возвратных вод, дренируемых Арнасайскими коллекторами, будет перекачиваться в Сырдарью, то убыль стока в Кокбулаке уменьшится.

В нижнем течении реки освоение запланированных земель (даже при условии осуществления мероприятий по повышению КПД систем и снижению оросительных норм) возможно лишь с известными ограничениями в маловодные годы на обоих уровнях планирования.

Таблица 7.7

Прогнозируемое на перспективу (1980—1985 гг.) изменение среднегодового стока р. Сырдарьи относительно современного положения (1958/59—1974/75 гг.), %

Створ	Сток в замыкающем створе относительно современного положения при притоке из области формирования, обеспеченном на					
	25%		50%		75%	
	1980 г.	1985 г.	1980 г.	1985 г.	1980 г.	1985 г.
г. Бекабад	87	88	87	88	90	89
к. Кокбулак	76	69	58	50	44	34
г. Казалинск	113	92	76	51	43	9
Устьевые створы	101	96	102	96	105	96
ЧАКИРА						

В годы средней и пониженной водности ($P \geq 50\%$) в створе г. Казалинска резко возрастет доля возвратных вод. Если сток возвратных вод с территории ирригационных районов не будет поступать в русло р. Сырдарьи, то сток за пределы орошаемой зоны (г. Казалинск) практически прекратится.

Планируемые водохозяйственные мероприятия отразятся не только на количестве речного стока, но и его качестве — изменится относительное содержание стока возвратных вод (табл. 7.6).

Вследствие повышения КПД ирригационной сети доля возвратных вод в стоке реки в верхнем и среднем течении уменьшится по сравнению с современным положением. Лишь на уровне 1980 г. доля возвратных вод в створе г. Бекабада несколько увеличится.

В нижнем течении реки, где в современных условиях доля возвратных вод мало отличается от $\alpha_{\text{воз}}$ в створе к. Кокбулак, в перспективе (при условии сброса коллекторных вод в р. Сырдарью) $\alpha_{\text{воз}}$ увеличится существенно.

Если запланированные мероприятия по повышению КПД систем и снижению оросительных норм не будут выполнены полностью, то развитие орошения вызовет еще более глубокие изменения стока. Количество его уменьшится еще более существенно, а доля возвратных вод резко возрастет.

Выводы

1. В ближайшей перспективе изменение стока, его режима и качества воды под воздействием антропогенных факторов будет определяться процессами, происходящими в зоне потребления воды.

2. Интенсивность изменения стока реки в каждом конкретном створе и на каждом этапе водохозяйственного строительства определяется соотношением изъятия стока на территорию и возврата с нее.

В связи с этим водный баланс территории, составленный на разные уровни водохозяйственного строительства, является основным и, вероятно, даже единственным способом прогноза изменения стока рек.

3. Интенсивное водохозяйственное строительство в бассейне р. Сырдарьи ускорит процесс трансформации речного стока в зоне его потребления, который заключается в уменьшении стока во времени и по длине реки, изменении доли возвратных вод.

4. При осуществлении планируемых мероприятий по снижению удельного водопотребления-брутто сток р. Сырдарьи на уровне 1980—1985 гг. в створе Бекабада в год средний по водности будет равен $13 \text{ км}^3/\text{год}$, что составляет 87—88% современного стока в этом створе.

В аналогичных условиях в створе Кокбулака сток к 1980 г. уменьшится до $10,6 \text{ км}^3$, а к 1985 г. — до $9,2 \text{ км}^3$, что составит относительно современного стока 58—50%.

В створе г. Казалинска сток к 1980 г. уменьшится до $2,7 \text{ км}^3/\text{год}$ (29% современного стока), а на уровне 1985 г. практически прекратится.

5. Доля возвратных вод в стоке-реки при осуществлении мероприятий по повышению КПД систем уменьшится.

6. Если мероприятия по повышению КПД ирригационных систем и снижению оросительных норм будут осуществлены не полностью, то убыль стока будет существенно больше прогнозируемой, а доля возвратных вод резко увеличится.

ГЛАВА 8

ИЗМЕНЕНИЕ МИНЕРАЛИЗАЦИИ И ИОННОГО СОСТАВА ВОДЫ р. СЫРДАРЬИ В БЛИЖАЙШЕЙ ПЕРСПЕКТИВЕ В СВЯЗИ С ПРЕДПОЛАГАЕМЫМ РАЗВИТИЕМ ОРОШЕНИЯ В ЕЕ БАССЕЙНЕ

Первые попытки прогнозирования минерализации речной воды на перспективу приводятся в работах К. Л. Лазарева и др. [62, 63], А. П. Орловой [87, 88], М. И. Геткера и др. [32, 33], Э. И. Чембарисова [153].

В них наметилось два направления в разработке методов прогнозирования изменения минерализации под влиянием антропогенных факторов — «балансовое» и «бассейновое».

«Бассейновый» метод [153] основан на связи минерализации в исследуемом створе с размером орошаемой площади выше его, выявленной в современных условиях и распространенной на перспективу.

Однако размер орошаемой площади не отражает в должной мере условий обогащения стока минеральными солями в процессе его трансформации на орошаемой территории.

При равных орошаемых площадях, но разной степени их водообеспеченности, засоленности и дренированности, а также положения относительно русла реки сток возвратных вод, их доля в стоке реки и качество, а следовательно, и минерализация речной воды, могут резко отличаться.

«Водно-балансовое» направление [62, 63, 87, 88] является принципиально более верным, так как минерализация речной воды в каждом конкретном случае определяется соотношением возвратных и естественных вод в реке и ионным составом этих вод.

Следовательно, и прогноз изменения химического состава воды следует строить на прогнозе гидрохимического режима естественных и возвратных вод и их соотношениях.

По материалам гидрохимических наблюдений за притоком из области формирования стока можно судить об отсутствии временного тренда в современных условиях (гл. 6)*.

Не следует ожидать его, очевидно, и в будущем. Условия формирования гидрохимического режима (как и жидкого стока) в перспективе, вероятно, не изменятся.

Можно лишь ожидать, что Токтогульское и Андижанское водохранилища приведут к выравниванию гидрохимического режима рек Нарын и Карадарья и более равномерному поступлению солей из области формирования стока.

Однако гидрохимический режим в зоне использования стока в современных условиях практически не зависит от притока солей с гор (табл. 6.4).

Следовательно, и в перспективе минерализация воды р. Сырдарьи в этой области будет определяться в основном процессами трансформации стока на орошаемой территории, а именно — соотношением естественных и возвратных вод и минерализацией последних.

Возвратные воды принято подразделять на «русловые», непосредственно дренируемые рекой, и «внутрисистемные», отводимые в реки по коллекторам и сбросам [112].

Сведения о гидрохимическом режиме коллекторных вод носят весьма отрывочный (во времени и по территории) характер, а химический состав «русловых» возвратных вод не измеряется непосредственно современными методами.

Отождествление гидрохимического режима «русловых» «внутрисистемных» вод, как это делается обычно [62, 63, 87, 88]

* Во всяком случае современные методы исследований не позволяют установить его достоверно, а тем более спрогнозировать.

не всегда справедливо, так как последние могут быть в значительной степени разбавлены слабоминерализованными сбросными водами.

Таким образом мы не располагаем достоверными сведениями о гидрохимическом режиме возвратных вод даже в современных условиях.

Тем более нет серьезных проработок об изменении солевого состава возвратных вод в перспективе. Имеются лишь общие соображения об увеличении минерализации возвратных вод за счет повторного их использования и сокращения доли сбросных вод.

Между тем длительная работа дренажа может привести и к уменьшению минерализации возвратных вод за счет капитальных промывок почвы в зоне действия дренажа.

Согласно исследованиям на Шурузьякском ирригационном массиве в Голодной степи [90] за 12 лет работы дренажа минерализация грунтовых вод в среднем по массиву сократилась с 9,2 до 6,8 г/л.

Из опыта орошения Муганской степи [50] следует, что за 20 лет работы дренажа минерализация коллекторных вод уменьшилась примерно вдвое.

Обобщение некоторых опытных данных работы горизонтального дренажа [96] показало, что интенсивность снижения минерализации дренажных вод существенно зависит от исходной минерализации, стадии эксплуатации мелиоративной системы, ее параметров и гидрогеологических особенностей территории.

В связи с этим без постановки специальных стационарных исследований изменения минерализации возвратных вод под влиянием определяющих ее факторов (степень засоленности почвогрунтов, длительность их орошения в условиях промывного режима, доля сбросных вод, КПД системы и т. д.), вероятно, трудно дать обоснованный прогноз содержания солей в этих водах. Поэтому, прогнозируя минерализацию речной воды на ближайшую перспективу, исходим из существующей зависимости ее от доли возвратного стока в реке [32]. Последний показатель [32, 33] представляется в современных условиях наиболее физически обоснованным аргументом, так как с одной стороны отражает доленое участие в стоке реки вод с различной минерализацией, а с другой — определяется степенью изъятия стока.

Однако при расчете доли возвратных вод в стоке реки за конкретные периоды времени возникает ряд трудностей, снижающих точность расчетов. Применение же осредненных во времени характеристик $\alpha_{\text{воз}}$ и ΣU [32, 33] позволяет оценить лишь фон гидрохимического режима в будущем.

Между тем наибольший интерес представляет прогноз минерализации воды в маловодные периоды, когда водные ресурсы используются наиболее интенсивно и качество воды резко ухудшается.

Для составления прогнозов за короткие промежутки времени (например, сезон) требуется аргумент, достаточно точно учиты-

вающий соотношение возвратных и естественных вод в реке и в то же время легко определяемый в любом створе реки за расчетный период времени.

Таким показателем является на наш взгляд коэффициент изъятия стока, связанный с суммой ионов зависимостью вида

$$\lg \Sigma U = A \alpha_{из} + B$$

или

$$\lg \Sigma U = A \alpha_{из} + C \alpha'_{из} + B.$$

Сводный коэффициент корреляции этих уравнений (табл. 6.4) превышает 0,86, а в пределах $0,674 \sigma$ лежит свыше 83% всех эмпирических точек. Это позволяет использовать полученные уравнения для прогнозов средней за сезон минерализации.

Располагая проектными данными о перспективном водозаборе выше исследуемого створа на реке, можно для лет разной водности оценить степень изъятия стока, а затем по предлагаемым уравнениям (табл. 6.4) — среднюю за сезон минерализацию (табл. 8.1).

При современной потребности в оросительной воде коэффициенты изъятия стока даже в многоводные годы ($P \leq 25\%$) превышают 0,6 в верхнем течении и 1,2 — в нижнем. В исключительно маловодные годы ($P \geq 97\%$) $\alpha_{из}$ в створе к. Каль в вегетацию равно 0,9, а в Казалинске 1,7 (табл. 2.6).

В перспективе при осуществлении всех мероприятий по снижению удельного водозабора-брутто изъятие стока до створа г. Бекабада должно несколько уменьшиться относительно современного положения, а к створам Тюменьарык и Казалинск — увеличиться.

В год 50%-ной обеспеченности (по притоку из области формирования) средняя за вегетационный период минерализация в Бекабаде и Тюменьарыке на уровне 1980—1985 гг. составит 0,9 г/л, а в Казалинске — 1,3—1,4 г/л.

В невегетационный период года средней водности минерализация в Бекабаде будет равна 1,2—1,3 г/л, в Тюменьарыке и Казалинске — 1,5 г/л.

Наиболее интенсивно минерализация будет увеличиваться в маловодные годы. В исключительно маловодные годы ($P > 95\%$) на уровне 1980 г. средняя за вегетацию минерализация в Бекабаде будет равна 2 г/л, в Тюменьарыке она несколько снизится за счет рассоляющего воздействия слабоминерализованных сбросов Чирчика, а в Казалинске повысится до 3 г/л. Практически в этот период сток р. Сырдарьи в низовьях, состоящий из многократно использованных возвратных вод, будет ничтожно мал.

В невегетационный период минерализация будет несколько ниже. Однако и в этот период в Бекабаде она будет превышать 1,4 г/л, а в Тюменьарыке и Казалинске — 2 г/л.

Средне-сезонная минерализация воды р. Сырдарьи на уровне 1980—1985 гг. в годы разной водности при осуществлении планируемого водозабора-брутто, мг/л

Створ	Расчетный уровень, гг.	При притоке из области формирования, обеспеченом (%) на									
		25	50	75	95	97	25	50	75	95	97
В вегетационный период						В невегетационный период					
г. Бекабад	1970—1975	800	950	1180	1410	1540	1060	1160	1280	1410	1430
	1980	720	910	1060	1310	1950	1110	1260	1300	1400	1410
	1985	660	820	950	1600	1680	1030	1150	1200	1320	1340
к. Тюменьарык	1970—1975	830	960	1160	1340	1440	1060	1170	1500	2020	2050
	1980	760	930	1050	1720	1750	1280	1540	1720	2130	2200
	1985	710	840	960	1400	1540	1300	1540	1800	2230	2300
г. Казалинск	1970—1975	1120	1240	1430	1680	1890	1150	1260	1520	1830	1870
	1980	1090	1340	1730*	2700*	2960*	1250	1460	1590	1920	1970
	1985	1120	1370	1800*	2880*	3160*	1280	1480	1680	2040	2090

Таблица 8.2

Минерализация воды р. Сырдарьи на планируемых уровнях в створах г. Бекабада и г. Казалинска при чередовании лет различной водности, мг/л

$P_i \%$	1970—1975 гг.					1980 г.					1985 г.				
	25	50	75	95	97	25	50	75	95	97	25	50	75	95	97
г. Бекабад (май—октябрь)															
25	800	920	1090	1240	1330	720	860	970	1540	1570	660	780	880	1320	1360
50	830	950	1130	1290	1380	760	910	1030	1620	1650	690	820	920	1380	1430
75	870	1000	1180	1350	1450	780	930	1060	1680	1710	710	840	950	1430	1480
95	900	1040	1230	1410	1500	880	1070	1200	1910	1940	800	950	1070	1600	1660
97	920	1060	1250	1430	1540	890	1070	1210	1910	1950	800	960	1080	1620	1680
к. Тюменьарык															
25	1060	1140	1340	1660	1670	1280	1450	1570	1820	1860	1300	1460	1630	1890	1930
50	1090	1170	1390	1710	1730	1350	1540	1670	1930	1970	1360	1540	1720	1990	2030
75	1180	1260	1500	1840	1860	1400	1590	1720	2000	2040	1430	1610	1800	2080	2130
95	1280	1380	1630	2020	2030	1490	1700	1840	2130	2180	1530	1720	1920	2230	2280
97	1290	1390	1640	2020	2050	1500	1710	1860	2150	2200	1540	1730	1940	2240	2300

Особенно высокие значения среднесезонной минерализации следует ожидать при неблагоприятном сочетании ряда маловодных лет (табл. 8.2).

Так, средняя за вегетацию минерализация воды в створе г. Бекабада в исключительно маловодный год (97%), следующий за таким же годом, может достигнуть 2 г/л. Если такой же год следует за многоводным (25%-ной обеспеченности) или средним по водности, то минерализация составит 1,6 г/л.

Аналогичная картина наблюдается в створе к. Тюменьарык в невегетационный период (табл. 8.2).

Если в перспективе планируемое снижение удельного водозабора-брутто не будет осуществлено полностью, то средняя за сезон минерализация будет существенно превышать величины, приведенные в табл. 8.1, 8.2.

Если допустить, что удельный водозабор-брутто понизится на 50% планируемого снижения, то средняя за вегетацию минерализация в Бекабаде и Тюменьарыке в год средней водности составит около 1 г/л, а в г. Казалинске — 1,6—2,0 г/л.

В невегетационный период в Бекабаде она будет равна 1,4 г/л, а в нижнем течении реки — больше 2 г/л (табл. 8.3).

Таблица 8.3

Среднесезонная минерализация воды р. Сырдарьи в годы разной водности при снижении водозабора-брутто на 50% относительно планируемого

Створ	Расчетный уровень, г.	При обеспеченности притока из области формирования, %									
		май—октябрь					ноябрь—апрель				
		25	50	75	95	97	25	50	75	95	97
г. Бекабад	1980	770	990	1160	2170	2220	1280	1430	1470	1590	1610
	1985	770	950	1160	2080	2220	1230	1370	1430	1590	1610
к. Тюменьарык	1980	800	1000	1140	1920	1960	1750	2100	2430	3100	3240
	1985	800	960	1140	1850	1960	2020	2540	3060	4190	4380
г. Казалинск	1980	1270	1600	2120	3540	3870	1680	2000	2250	2790	2870
	1985	1540	1990	2770	5070	5690	1850	2260	2650	3480	3610

Увеличение общей минерализации будет сопровождаться трансформацией ионного состава в сторону дальнейшего повышения суммы токсичных ионов.

Концентрацию отдельных ионов на перспективу с некоторой степенью условности можно оценить по уравнениям связи содержания каждого ингредиента ионного состава с общей минерализацией, полученным на материалах гидрохимических наблюдений современных условиях (табл. 6.7).

С ростом коэффициента изъятия стока увеличивается сумма токсичных ионов (табл. 8.4).

Концентрация токсичных ионов в воде р. Сырдарьи при различных коэффициентах изъятия стока, мг/л

Створ	Элемент	Общая минерализация и содержание некоторых ионов при $\alpha_{из}$													
		вегетационный период							невегетационный период						
		0,8	0,9	0,94	1,0	1,1	1,2	1,3	0,7	0,8	0,9	0,94	1,0	1,1	1,2
к. Каль	SO ₄ ^{''}	279	378	432	526				260	284	315	326	346	393	435
	Cl'	49	67	77	97				46	50	55	57	61	70	78
	Mg ^{..}	41	54	61	73				38	41	45	47	49	56	61
	Na [·] +K [·]	60	83	96	119				55	61	68	71	76	87	97
	Σ	429	582	666	815				399	436	483	501	532	606	671
г. Бекабад	SO ₄ ^{''}	479	589	639	712	859			429	464	504	519	539	574	614
	Cl'	87	108	119	136	177			78	84	91	94	98	105	113
	Mg ^{..}	73	90	99	110	134			64	70	77	79	82	88	94
	Na [·] +K [·]	109	135	147	164	199			97	106	115	119	123	132	141
	Σ	748	922	1004	1122	1369			668	724	787	811	842	899	962
г. Казалинск	SO ₄ ^{''}	343	398	426	467	554	646	760		508	623	659	673	765	902
	Cl'	65	82	91	105	135	169	214		119	160	174	179	216	274
	Mg ^{..}	40	47	51	56	67	78	92		61	75	80	82	93	110
	Na [·] +K [·]	100	125	138	156	197	239	292		176	228	245	252	294	357
	Σ	548	652	706	784	953	1132	1358		864	1086	1158	1186	1368	1643

При изъятии выше г. Бекабада 80% вегетационного стока (год 75%-ной обеспеченности) доля токсичных ионов в этом створе составит 70% ионного стока. В год 95%-ной обеспеченности, когда в пределах Ферганской долины будет забрано 98—106% вегетационного стока, доля токсичных ионов возрастет до 73—75%.

В створе г. Казалинска при $\alpha_{из}$ равном 1,3 (год 50%-ной обеспеченности) в среднем за вегетационный период доля токсичных ионов составит 80%. Из анионной группы в перспективе во всех створах р. Сырдарьи с нарушенным гидрохимическим режимом будет преобладать SO_4^{--} , а из катионов — $Na^+ + K^+$.

Выводы

1. Разработанная методика прогноза среднесезонной минерализации речной воды в зависимости от степени изъятия стока, позволила дать оценку гидрохимического режима р. Сырдарьи в ближайшей перспективе с учетом водности лет.

2. В ближайшей перспективе, как и в современных условиях, минерализация воды р. Сырдарьи в зоне использования стока будет определяться процессами трансформации стока на орошаемой территории, а именно, соотношением естественных и возвратных вод и минерализацией последних.

3. В год средней водности на уровне 1980—1985 гг. наиболее вероятное значение минерализации р. Сырдарьи в вегетационный период будет равно 900—950 мг/л в створе г. Бекабада и 1300—1400 мг/л в створе г. Казалинска. В невегетационный период она будет равна соответственно 1200—1300 мг/л и 1500 мг/л.

В маловодные годы минерализация речной воды будет существенно выше и в низовьях может достигать 3000 мг/л.

Особенно высоких значений минерализации следует ожидать при чередовании ряда маловодных лет.

Если степень изъятия стока будет выше проектируемой, то и величина общей минерализации будет превышать прогнозную.

4. Повышение общей минерализации будет сопровождаться ростом доли токсичных ионов.

Из анионной группы в перспективе во всех створах р. Сырдарьи с нарушенным гидрохимическим режимом будет преобладать SO_4^{--} , а из катионной — Na^+ и K^+ .

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

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

Процесс этот идет в нескольких направлениях:

1) изменение стока во времени и по длине реки;

- 2) перераспределение его во времени и по длине реки, связанное с формированием стока возвратных вод;
- 3) повышение доли возвратных вод в стоке реки;
- 4) увеличение общей минерализации речной воды и повышение удельного веса токсичных ионов.

Интенсивность и направленность процесса трансформации стока в зоне его использования неодинакова в разных природно-хозяйственных условиях и зависит от соотношения изъятия стока из реки и поступления в нее возвратных вод.

В отдельные периоды, когда расширение орошаемых площадей в верхней зоне и повышение их водообеспеченности сопровождалось крупным гидромелиоративным строительством, хозяйственная деятельность вызывала в основном перераспределение стока во времени и по длине реки и повышение доли возвратных вод, не сказываясь на уменьшении стока.

В современных условиях, когда компенсационные факторы уже исчерпаны в значительной мере, началось интенсивное уменьшение стока во времени и по длине реки.

Одновременно резко усилился процесс засоления речной воды. Особенно значительная трансформация речного стока в зоне его использования происходит в годы пониженной водности и при чередовании ряда маловодных лет, когда сток используется наиболее интенсивно.

В перспективе в связи с увеличением темпов ирригационного освоения территории, процесс трансформации речного стока под влиянием антропогенных факторов усилится.

Научно обоснованный прогноз этих изменений позволит рационально использовать водные ресурсы при планировании различных отраслей народного хозяйства.

Интенсивность изменения стока (в количественном и качественном отношении) в процессе его использования для орошения определяется на каждом уровне водохозяйственного строительства соотношением безвозвратного водопотребления и стока возвратных вод.

Поэтому надежность прогноза изменений стока на перспективу определяется степенью достоверности расчета этих величин.

В связи с этим приведенные в работе оценки изменения стока под влиянием комплекса планируемых водохозяйственных мероприятий должны уточняться по мере накопления информации о водно-солевом режиме орошаемой территории и антропогенных факторах стока.

Первоочередными задачами в области долгосрочного прогнозирования изменения стока под влиянием антропогенных факторов являются, на наш взгляд, следующие:

1. Оценка изменений в климате в связи с намеченной переброской в Среднюю Азию части стока сибирских рек и изменений в связи с этим ее водных ресурсов.

2. Зависимость испарения с орошаемых полей и с внутрисистемных перелогов от способа орошения, КЗИ, качества планировки, длительности освоения массива и т. д.

3. Долевое участие в формировании стока возвратных вод площадной (с полей орошения) и линейной (из каналов) фильтрации.

4. Участие атмосферных осадков в стоке по коллекторам (особенно в предгорной зоне).

5. Минерализация возвратных вод в зависимости от удельного водозабора и стадии освоения территории, доли сбросных вод и т. д.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Айзенштат Б. А., Огнева Т. А., Борушко И. С. Влияние орошения на распределение метеорологических элементов в приземном слое. — «Труды ГГО», 1953, вып. 39(101), с. 61—90.
2. Алекин О. А. Гидрохимия рек СССР, ч. III, вып. 15(69). Л., Гидрометеониздат, 1949. 141 с.
3. Алекин О. А., Бражникова Л. Д. Методы расчета ионного стока. — «Гидрохим. материалы». Л., Гидрометеониздат, 1963, т. 35, с. 135—148.
4. Алекин О. А. К изучению количественных зависимостей между минерализацией, ионным составом и водным режимом рек СССР. — «Труды ГГИ», 1950, вып. 25(79), с. 25—36.
5. Алекин О. А. Гидрохимический режим р. Амударьи. — «Труды ГГИ», 1951, вып. 33(87), с. 5—25.
6. Алексеев Г. А. Объективные методы выравнивания и нормализации корреляционных связей. Л., 1971. 363 с.
7. Алпатьев А. М. Влагообороты в природе и их преобразования. Л., Гидрометеониздат, 1969. 324 с.
8. Аткарская Т. Н., Шимельмиц И. Я. Влияние орошаемого земледелия на водные ресурсы и водный баланс бассейна р. Сырдарьи. — «Водные ресурсы». 1973, № 6, с. 49—71.
9. Аткарская Т. Н., Шимельмиц И. Я. Опыт исследования водохозяйственного баланса р. Сырдарьи. — «Труды ГГИ», 1973, вып. 208, с. 99—110.
10. Возвратные воды в бассейне р. Сырдарьи. — Труды IV Всесоюзного гидрологического съезда, 1976, т. 4, с. 326—333. Авт.: Т. Н. Аткарская, Н. Ю. Королева, Ф. М. Крутик, Д. П. Карелина.
11. Аткарская Т. Н. Возвратные воды орошаемых земель Ферганской долины. — «Метеорология и гидрология», 1970, № 10, с. 63—71.
12. Байдал М. Х., Кияткин А. К. Настоящее и будущее проблемы Аральского моря. — «Труды КазНИГМИ», 1972, вып. 44, с. 5—19.
13. Байдал М. Х. Предстоящие вековые и внутривековые условия солнечной активности, атмосферной циркуляции и уровня Аральского моря. — «Труды КазНИГМИ», 1972, вып. 44, с. 100—104.
14. Байдал М. Х. Роль динамики мгновенного полюса земли во внутривековых колебаниях гидрометеорологических характеристик. — «Труды КазНИГМИ», 1972, вып. 44, с. 67—75.
15. Беремжанов Б. А., Ибрагимова М. А. О метаморфизации химического состава речных вод (на примере Казахстана). — Тезисы докладов совещания «Гидрохимические аспекты изучения и защиты окружающей среды» XI Всесоюзного гидрохимического совещания. Новочеркасск, 1975, с. 13.
16. Беремжанов Б. А., Ибрагимов А. И., Ибрагимова М. А. Физические исследования воды рек Сырдарьинского бассейна. — «Вестн. АН КазССР», 1972, № 6(326), с. 42—65.
17. Беремжанов Б. А., Ибрагимов А. И., Ибрагимова М. А. К вопросу химической характеристики р. Сырдарьи. Сообщение 1. Характеристика притоков среднего течения р. Сырдарьи. — В сб.: Химия и химическая технология, 1970, вып. X, с. 58—70.

18. Исчисление выклинивающихся вод юго-западных бассейнов Узбекистана в водоземельных балансах Узводпроиза. — «Ирригация и гидротехника», 1936, № 7, с. 56—84. Авт.: А. В. Бостонжогло, В. Л. Шульц, А. П. Стружинский, Е. М. Тимофеев.
19. Буркальцева М. А. Методика расчета ионного стока горных рек Ферганской долины. — «Вестн. МГУ. Сер. геогр.», 1964, № 3, с. 83—86.
20. Буркальцева М. А. К методике построения зависимостей для химического стока горных рек. — «Вопросы гидрологии», 1965, вып. 2, с. 119—125.
21. Вершинин А. П. Горизонтальная изменчивость испарения на орошаемых сельскохозяйственных полях. — «Труды ГГИ», 1969, вып. 158, с. 3—20.
22. Видинеева Е. М. Влияние Кайраккумского водохранилища на гидрохимический режим р. Сырдарьи. — «Труды ТГО», 1971, вып. 4, с. 185—195.
23. Видинеева Е. М. Солевой баланс Куюмазарского водохранилища. — «Труды САРНИГМИ», 1975, вып. 2(83), с. 38—43.
24. Воронков П. П. Формирование химического состава поверхностных вод степной и лесостепной зон Европейской территории СССР. Л., Гидрометеиздат, 1955. 350 с.
25. 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.
26. 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., Гидрометеиздат, 1973, с. 53—85.
27. Гальцов А. П. Зависимость осадков в горах Средней Азии от орошения предгорных равнин. — «Изв. АН СССР. Сер. геогр.», 1964, № 2, с. 37—44.
28. Гейнц В. А. Подземные воды четвертичных отложений юго-западной Ферганы. Ташкент, «Фан», 1967. 108 с.
29. Гельбух Т. М., Джоган Л. Я. Водно-балансовые исследования в районах развитого орошаемого земледелия. — «Водные ресурсы», 1974, № 1, с. 74—90.
30. Гельбух Т. М. Схема расчета испарения с орошаемых земель и структура водного баланса орошаемой территории аридной зоны (на примере бассейна р. Сырдарьи). — «Труды ГГИ», 1973, вып. 208, с. 135—142.
31. Гельбух Т. М. Водный баланс отдельных участков бассейна р. Сырдарьи. Материалы семинара по расчетам водного баланса речных бассейнов. Валдай, 1967, с. 197—201.
32. Геткер М. И., Куропатка Л. М., Рубинова Ф. Э. Об изменении минерализации воды р. Сырдарьи в связи с развитием орошения в ее бассейне. — «Труды САРНИГМИ», 1975, вып. 23(104), с. 71—95.
33. Геткер М. И., Куропатка Л. М., Рубинова Ф. Э. Сток возвратных вод в бассейне р. Сырдарьи и его влияние на минерализацию речной воды в современных условиях и в перспективе. — «Труды САРНИГМИ», 1975, вып. 25(108), с. 3—22.
34. Глушков В. Г. Вопросы теории и методики гидрологических исследований. М., Изд-во АН СССР, 1961. 416 с.
35. Гнусин Н. П. Об изменении стока ионов хлора рек территории Советского Союза. — «Гидрохим. материалы». Л., Гидрометеиздат, 1970, т. 53, с. 116—124.
36. Голубцов В. В., Морозова О. А. Прогноз изменения уровня Аральского моря на ближайшие десятилетия. — «Труды КазНИГМИ», 1972, вып. 44, с. 105—123.
37. Голяновская Н. В., Мигунова Л. П., Юдина Г. Е. Возвратные воды низовий Амударьи. — «Водные ресурсы», 1976, № 2, с. 88—93.
38. Грабовская О. А. Опыт мелиоративного освоения засоленных и заболоченных земель в Вахшской долине в условиях средней отточности грунтовых вод. — В сб.: Мелиорация почв в Вахшской долине, 1957, т. 78, с. 49—72.
39. Грин А. М. Изменение динамики стока р. Сырдарьи в связи с развитием орошения в Ферганской долине. — «Изв. АН СССР. Сер. геогр.», 1959, № 3, с. 89—94.

40. Гуляйко Ю. С. Способ учета влияния хозяйственной деятельности на сток рек. — «Труды ГГИ», 1973, вып. 208, с. 92—98.
41. Дроздов О. А., Григорьева А. С. Влияние изменения испарения с больших территорий на осадки данного района и соседних территорий. — «Труды ГГО», 1966, вып. 198, с. 17—26.
42. Дроздов О. А. Влияние хозяйственной деятельности человека на влагооборот. — «Труды ГГО», 1974, вып. 316, с. 83—103.
43. Речной сток и географические процессы. М., «Наука», 1966. 295 с. Авт.: И. П. Дружинин, З. П. Коваленко, В. П. Кукушкина, Н. В. Хамьянова.
44. Дунин-Барковский Л. В. О водном балансе орошаемой территории. — Изв. АН СССР. Сер. геогр., 1956, № 5, с. 61—73.
45. Дунин-Барковский Л. В. Развитие ирригации и судьба Аральского моря. — В сб.: Проблемы преобразования природы Средней Азии. М., «Наука», 1967, с. 75—85.
46. Дунин-Барковский Л. В. Физико-географические основы ирригации. М., «Наука», 1976. 297 с.
47. Духовный В. А. Орошение и освоение Голодной степи. М., «Колос», 1973, 239 с.
48. Еременко Г. В., Усманов А. Дополнительные источники орошения в Западной Фергане. — «Труды САНИИРИ», 1967, вып. 113, с. 183—204.
49. Ефимов Г. С. Водный баланс Тедженского оазиса. Ашхабад, «Ылым», 1966. 112 с.
50. Захарьина Г. В. Сезонный и многолетний солевой режим орошаемых и залежных земель Мильской и Муганской степей. — «Труды Почвенного института АН СССР им. В. В. Докучаева», 1958, т. 54, с. 3—151.
51. Ирригация Узбекистана. Развитие ирригации в комплексе производительных сил Узбекистана. Ташкент. Изд-во АН УзССР, 1975, т. 1, 351 с.
52. Ирригация Узбекистана. Современное состояние и перспективы развития ирригации в бассейне р. Сырдарьи. Ташкент, Изд-во АН УзССР, 1975, т. 11, 359 с.
53. Калинин Г. П. Проблемы глобальной гидрологии. Л., Гидрометеониздат, 1968, 377 с.
54. Кац Д. М. Режим грунтовых вод в орошаемых районах и его регулирование. М., «Изд-во с/х литературы», 1963. 365 с.
55. Каплинский М. И. Водный баланс орошаемых территорий Киргизии. — Тр. IV Всесоюзного гидрологического съезда, 1976, т. 4, с. 216—232.
56. Кирста Б. Т. О наблюдениях за испарением с поверхности почвы в условиях Туркмении. — В сб.: Мелиорация Туркмении. Ашхабад, «Ылым», 1968, с. 151—162.
57. Комарова В. Р., Кротова Л. С., Кудышкин В. А. О точности учета стока в бассейне р. Сырдарьи ниже Учкурганской и Кампырраватской ГЭС. — «Труды САРНИГМИ», 1978, вып. 60(141), с. 36—43.
58. Кочукова Т. Н. Колебания годового стока рек СССР. — «Труды ЦИП», 1955, вып. 50(104), с. 56—116.
59. Крицкий С. Н., Менкель М. Ф. Проблема Аральского моря. — В сб.: Проблемы регулирования и использования водных ресурсов. М., Гидрометеониздат, 1973, с. 4—29.
60. Кувшинова К. В. Изменение атмосферных осадков при полном использовании воды Амударьи на орошение. — «Изв. АН СССР. Сер. геогр.», 1964, № 2, с. 45—49.
61. Кузнецов В. И. Об изменениях стока р. Сырдарьи в связи с развитием орошения. — «Метеорология и гидрология», 1957, № 7, с. 7—22.
62. Лазарев К. Г., Якушева А. С., Манихина Р. К. Ожидаемые изменения минерализации и относительного состава воды в бассейне р. Амударьи после зарегулирования стока (на уровне 1980 г.) — «Гидрохимматериалы». Л., Гидрометеониздат, 1965, т. 40, с. 23—35.
63. Лазарев К. Г., Якушева А. С., Манихина Р. К. Ожидаемые изменения минерализации и относительного состава воды в бассейне р. Сырдарьи после зарегулирования стока (на уровне 1980 г.) — «Гидрохимические материалы», Л., Гидрометеониздат, 1965, т. 40, с. 46—49.

64. Лайхтман Д. Л., Цейтин Г. Х. Изменение температуры приземного слоя атмосферы при орошении. — «Труды ГГО», 1953, вып. 39(101), с. 219—227.
65. Лапшина Г. П., Тарасов М. Н., Фесенко В. А. Гидрохимическая характеристика поверхностных вод Азовской оросительной системы. — «Гидрохим. материалы», Л., Гидрометеиздат, 1973, т. 57, с. 56—63.
66. Лапшина Г. Т., Тарасов М. Н. Некоторые вопросы гидрохимических исследований на орошаемых землях. Обзор. Обнинск. 1970, 24 с. (обзорная информация ВНИИГМИ-МЦД).
67. Леонов Е. А. Об оценке влияния оросительных мелиораций на сток с орошаемых территорий. — «Труды ГГИ», 1974, вып. 221, с. 195—213.
68. Левченко Г. П. Возвратные воды с орошаемых земель. — Тр. IV Всесоюзного гидрологического съезда «Гидрологические проблемы водного хозяйства». Т. 4. Л., Гидрометеиздат, 1976, с. 259—277.
69. Леонов Е. А. Формирование стока на коллекторах за счет атмосферных осадков. — «Труды ГГИ», 1969, вып. 158, с. 72—82.
70. Луценко И. М. К вопросу о методике исчисления добавочных вод в оазисах Средней Азии. — «Труды и материалы по гидрологии Средней Азии», 1935, вып. 1, с. 47—68.
71. Мамедов А. И. Развитие ирригации в Узбекистане. Ташкент, «Фан», 1967, 297 с.
72. Масалова С. П. Изменение влажности воздуха при орошении. — «Труды ГГО», 1953, вып. 39(101), с. 228—231.
73. Мельник Ю. С., Николаева А. С., Корганов А. С. Суммарное испарение с перелогов, примыкающих к ЮГК. — «Метеорология и гидрология», 1968, № 6, с. 68—74.
74. Милькис Б. Е., Ахмедов Г. А., Туйчиев Т. К вопросу зависимости суммарного испарения с орошаемого хлопкового поля от суммарной радиации и радиационного баланса. — «Труды САНИИРИ», 1969, вып. 118, с. 95—116.
75. Милькис Б. Е., Муминов Ф. А. Вопросы методики расчета испарения с орошаемых земель. — «Труды САНИГМИ», 1971, вып. 66(81), с. 52—61.
76. Милькис Б. Е. Количественная оценка суммарного испарения с орошаемых хлопковых полей Ферганской долины. — «Труды САНИИРИ», 1973, вып. 139, с. 101—111.
77. Испарение с с/х поля в невегетационный период в Каракалпакской АССР. — «Труды САНИГМИ», 1975, вып. 23(104), с. 139—146. Авт.: Б. Е. Милькис, Т. Туйчиев, Н. Н. Федоровская, Т. В. Донати.
78. Милькис Б. Е., Туйчиев Т. Величина суммарного испарения с перелогов, занятых естественной (дикой) растительностью в Северной Каракалпакии. — «Труды САНИГМИ», 1974, вып. 23(104), с. 147—151.
79. Миркин С. Л. Коэффициент полезного действия оросительных систем Средней Азии и пути его повышения. — В кн.: Тр. Арало-Каспийской экспедиции, 1954, вып. III, с. 5—117.
80. Мирзаев С. Ш., Бакушева Л. П. Влияние орошения на запасы и баланс подземных вод, их изучение и прогнозирование (в порядке постановки вопроса). — «Труды ГГИ», 1973, вып. 208, с. 80—91.
81. Митропольский А. К. Техника статистических вычислений. М., «Наука», 1971. 576 с.
82. Михельсон Б. А., Поярков В. Ф. Мелиоративное состояние земель в зоне командования канала им. Кирова. — Материалы по производительным силам Узбекистана, 1960, вып. 15, с. 247—260.
83. Молчанов Л. А. Изменяется ли климат Средней Азии? — «Социалистическая наука и техника», 1933, № 2, с. 3—5.
84. Муминов Ф. А. Тепловой баланс и формирование урожая хлопчатника. — «Труды САНИГМИ», 1970, вып. 50(65), с. 245.
85. Нерозин А. Е. Мелиорация засоленных орошаемых земель Узбекистана. Ташкент, «Фан», 1974. 104 с.
86. Никитин А. М., Николаенко В. А. Водно-солевой баланс Чарвакского водохранилища. — «Труды САНИГМИ», 1975, вып. 2(83), с. 44—57.

87. Орлова А. П., Дунин-Барковская О. С. К вопросу разработки методики прогнозирования качества вод рек Средней Азии. «Труды САНИИРИ», 1975, вып. 146, с. 19—22.
88. Орлова А. П. Прогноз качества воды р. Сырдарьи. — «Труды САНИИРИ», 1973, вып. 138, с. 57—67.
89. Погадаев Г. И., Федорова Г. Я., Погадаева Н. Н. О связи между минерализацией и главными ионами воды рек бассейна Амура. — «Труды ДВНИГМИ», 1975, вып. 53, с. 83—84.
90. Поярков В. Ф., Лавриненко Л. З. Мелиоративные наблюдения при эксплуатации оросительных систем. — В сб.: Эксплуатация оросительных систем и пути ее улучшения. М., «Колос», 1971, с. 93—100.
91. Рачинский А. А. Проблема сегодняшнего дня: реконструкция внутрихозяйственных гидромелиоративных систем. — «Хлопководство», 1975, № 9, с. 33—37.
92. Рачинский А. А. Потери воды в хозяйственной оросительной системе и меры борьбы с ними. Ташкент, Изд-во АН УзССР, 1956. 157 с.
93. Ревина С. К., Соловьева И. Л. Изменение минерализации, ионного стока и качественного состава рек Амударьи и Сырдарьи за период 1952—1966 гг. — «Труды ГОИН», 1970, вып. 101, с. 101—110.
94. Рекомендации по расчету испарения с поверхности суши. Л., Гидрометеиздат, 1976. 96 с.
95. Ресурсы поверхностных вод СССР. Т. 14, Средняя Азия, вып. 1, бассейн р. Сырдарьи Л., Гидрометеиздат, 1969. 437 с.
96. Решеткина Н. М., Соيفер С. Прогноз минерализации стока горизонтальных дрен. — «Хлопководство», 1976, № 3, с. 41—42.
97. Рубинова Ф. Э., Геткер М. И. Водный баланс Голодной Степи. — «Труды САНИИРИ», 1970, вып. 123, с. 3—23.
98. Рубинова Ф. Э., Геткер М. И. Об изменениях стока р. Сырдарьи в пределах Ферганской долины в связи с развитием орошения. — «Труды САНИИРИ», 1969, вып. 119, с. 3—23.
99. Рубинова Ф. Э., Геткер М. И. Структура водного баланса и потери речного стока в Ферганской долине и Голодной степи. — «Труды САНИГМИ», 1972, вып. 62(107), с. 84—89.
100. Рубинова Ф. Э. Изменение структуры водного баланса р. Сырдарьи (выше Чардары) под влиянием водохозяйственного строительства. — «Труды ГГИ», 1973, вып. 208, с. 111—116.
101. Рубинова Ф. Э., Геткер 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.
102. Трансформация речного стока в бассейне р. Сырдарьи по мере развития водного хозяйства. — «Труды IV Всесоюзного гидрологического съезда». Т. 4. Л., Гидрометеиздат, 1976, с. 251—258; Авт.: Ф. Э. Рубинова, М. И. Геткер, Ю. Н. Иванов, Р. М. Кутикова.
103. Рубинова Ф. Э. Изменение стока р. Сырдарьи под влиянием комплекса водохозяйственных мероприятий. — «Труды САРНИГМИ», 1976, вып. 40, с. 26—41.
104. Рубинова Ф. Э. Оценка возможного изменения стока р. Сырдарьи (выше Чардары) при отсутствии в перспективе (1980—1985 г.) водохозяйственных мероприятий. — «Труды САРНИГМИ», 1976, вып. 40, с. 42—67.
105. Рубинова Ф. Э., Геткер М. И. К вопросу оценки стока, формирующегося ниже опорных гидрологических постов в бассейне р. Сырдарьи. — «Труды САРНИГМИ», 1975, вып. 23(104), с. 59—70.
106. Рубинова Ф. Э., Шенцис И. Д., Куропатка Л. М. Оценка оптимальной частоты отбора проб для характеристики гидрохимического режима р. Сырдарьи. — «Труды САРНИГМИ», 1978, вып. 60(141), с. 53—60.
107. Рубинова Ф. Э., Куропатка 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.

108. Рубинова Ф. Э., Куропатка Л. М. Изменение ионного состава воды р. Сырдарьи под влиянием хозяйственной деятельности. — «Труды САРНИГМИ», 1977, вып. 52(133), с. 18—27.
109. Рубинова Ф. Э., Куропатка 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.
110. Рубинова Ф. Э., Куропатка Л. М. Прогноз среднемесячной минерализации воды р. Сырдарьи в пределах Ферганской долины. — «Труды САРНИГМИ», 1978, вып. 61(142).
111. Сапожникова С. А. Некоторые особенности климата оазисов в условиях Средней Азии. — «Труды ГГО», 1961, вып. 30, с. 28—36.
112. Светицкий В. П. Ресурсы возвратных вод р. Сырдарьи. — «Труды САНИИРИ», 1971, вып. 123, с. 135—183.
113. Светицкий В. П., Деречинская И. Б., Рустамова С. Р. Возвратные воды в бассейнах р. Кафирниган и Сурхандарьи. — «Труды САНИИРИ», 1966, вып. 111, с. 107—134.
114. Семенов В. А., Островский В. Н. Состояние и перспектива исследований водного баланса рек Или-Балхашского бассейна в связи с развитием орошения. — «Труды ГГИ», 1974, вып. 220, с. 39—45.
115. Смирнов Н. В., Дунин-Барковский И. В. Курс теории вероятностей и математической статистики. М., «Наука», 1965. 511 с.
116. Сомов Н. В. Асинхронность и цикличность колебаний стока крупных рек СССР. — «Труды ЦИП», 1963, вып. 117, с. 180—214.
117. Степанова К. М. Вещества, сбрасываемые водой рек Амударьи и Сырдарьи в Аральское море. Ташкент. — «Докл. АН УзССР». Изд-во АН УзССР, 1948, № 2, с. 15—19.
118. Сумарокова Н. В. Изменение водообмена русла р. Чу с прилегающей территорией в связи с развитием орошаемого земледелия. — «Труды ГГИ», вып. 230, с. 25—33.
119. Тарасов М. Н. Химия коллекторно-дренажных вод орошаемых территорий Северного Кавказа. Л., Гидрометеиздат, 1966. 117 с.
120. Тарасов М. Н., Павелко И. М. Изменение гидрохимического режима рек при их зарегулированности водохранилищами и вопросы прогнозирования. — «Гидрохимические материалы». Л., Гидрометеиздат, 1969, т. 50, с. 47—56.
121. Тарасов М. Н., Кореновская И. М. Изменение ионного состава и минерализации воды рек в связи с поступлением в них коллекторно-дренажных вод с орошаемых территорий. — «Тезисы докладов XXV совещания». Новочеркасск, 1972, с. 260—261.
122. Туровская В. И., Наумова Н. Н. К вопросу об изменении минерализации и ионного состава р. Куры по длине русла и во времени. — В кн.: Тезисы докладов совещания «Гидрохимические аспекты изучения и защиты окружающей среды», Новочеркасск, 1975, с. 174—175.
123. Указания к производству расчетов речного стока в условиях Средней Азии. Ташкент, Изд-во АН УзССР, 1959. 89 с.
124. Фадеев В. В., Тарасов М. Н. Влияние водности года на взаимосвязь между минерализацией и расходами воды рек. — «Гидрохимические материалы». Л., Гидрометеиздат, 1975, т. 64, с. 55—61.
125. Фадеев В. В., Павелко В. Л. Оптимальное число проб для характеристики внутригодового и внутрисуточного изменения минерализации воды рек. — «Гидрохим. материалы». Л., Гидрометеиздат, 1965, т. 64, с. 184—195.
126. Федин Н. Ф. Кызылординский массив орошения левобережья низовьев р. Сырдарьи. — Алма-Ата, Изд АН КазССР, 1952, 143 с.
127. Чаплыгин А. В. Урегулирование водного хозяйства Зеравшанской долины. М., «Наука», 1925. 105 с.
128. Харченко С. И. Гидрология орошаемых земель. Л., Гидрометеиздат, 1975, 373 с.
129. Харченко С. И. Исследования влияния орошения на водные ресурсы и водный баланс речных бассейнов, разработка методов определения вод-

- вратных вод и безвозвратных потерь. — «Труды ГГИ», 1973, вып. 208, с. 9—47.
130. Харченко С. И. Влияние орошения и мелиорации на водные ресурсы и водный баланс речных водосборов. М., Гидрометеиздат, 1973, с. 34—49.
 131. Харченко С. И. Тепло-водно-балансовый метод обоснования норм орошения. — «Труды ГГИ», 1965, вып. 125, с. 3—33.
 132. Харченко С. И., Левченко Г. П. Методика определения возвратных вод с орошаемых земель. — «Труды ГГИ», 1972, вып. 199, с. 3—67.
 133. Харченко С. И., Цыценко К. В. Оценка влияния ирригационных мероприятий на речной сток (на примере р. Чу). — «Труды ГГИ», 1976, вып. 230, с. 6—24.
 134. Шаров И. А. Эксплуатация гидромелиоративных систем. М., «Наука», 1959. 576 с.
 135. Шикломанов И. А. Гидрологические аспекты проблемы Каспийского моря. Л., Гидрометеиздат, 1976. 77 с.
 136. Шикломанов И. А. Влияние хозяйственной деятельности на водные ресурсы и гидрологический режим. Обзор, Обнинск, 1976. 110 с. (обзорная информация ВНИИГМИ-МЦД).
 137. Шикломанов И. А. К проблеме об оценке влияния деятельности человека на ресурсы поверхностных вод. — «Метеорология и гидрология», 1973, № 10, с. 27—37.
 138. Шикломанов И. А. О методах оценки влияния комплекса факторов хозяйственной деятельности на водные ресурсы и водный режим водосборов. — «Труды ГГИ», 1973, вып. 206, с. 3—21.
 139. Шикломанов И. А. О влиянии орошения на годовой сток рек Куры, Терека, Кубани. — «Труды ГГИ», 1973, вып. 208, с. 60—79.
 140. Шикломанов И. А. Оценка изменений стока р. Волги у Волгограда под влиянием хозяйственной деятельности. — «Труды ГГИ», 1975, вып. 229, с. 3—35.
 141. Шикломанов И. А., Леонов Е. А., Смирнова Л. Е. Сток в дельте р. Терека и его изменение под влиянием хозяйственной деятельности. — «Труды ГГИ», 1975, вып. 229, с. 86—105.
 142. Шикломанов И. А., Смирнова Л. Е. Оценка влияния хозяйственной деятельности на сток крупных рек Кавказа (Кура, Терек, Кубань). — «Труды ГГИ», 1973, вып. 206, с. 92—121.
 143. Шикломанов И. А., Хорецкая А. С. Оценка изменений стока р. Кубани под влиянием хозяйственной деятельности. — «Труды ГГИ», 1975, вып. 229, с. 55—71.
 144. Шикломанов И. А. О методах оценки влияния комплекса факторов хозяйственной деятельности на гидрологический режим крупных водосборов. — «Труды ГГИ», 1973, вып. 206, с. 3—21.
 145. Шмидт М. А. К вопросу о методе учета возвратных вод в системе р. Туполанг. — В кн.: Материалы по гидрологии Узбекистана, 1933, вып. 10, с. 3—7.
 146. Шмидт М. А., Шевченко А. И. Гидрологические типы оазисов УзССР и методы учета возвратных (выклинивающихся подземных) вод. — «Труды САНИИРИ», 1948, вып. 71, с. 31—40.
 147. Шмидт М. А. Взаимоотношения оросительных и возвратных вод в некоторых оазисах Узбекистана и методика его учета. — «Ирригация и гидротехника», 1935, № 2, с. 55—66.
 148. Шульц В. Л. Реки Средней Азии. Л., Гидрометеиздат, 1965, 691 с.
 149. Шульц В. Л. Изученность водных ресурсов Средней Азии и пути их использования. — В сб.: Проблемы преобразования природы Средней Азии. М., «Наука», 1967, с. 61—70.
 150. К вопросу изменения стока р. Сырдарьи в районе Чардаринского водохранилища в связи с развитием орошения. — «Изв. АН УзССР. Сер. техн. наук», 1961, № 2, с. 20—32. Авт.: В. Л. Шульц, Л. М. Орешина, Г. А. Ахмедов, Ф. Э. Рубинова.
 151. Шульц В. Л., Тимофеев Е. М., Надеждин А. М. Основные черты гидрологии Средней Азии (жидкий сток). Ташкент, 1936. 105 с.

152. Шульц В. Л., Орешина Л. М. Водный баланс Ферганской долины. «Изв. АН УзССР. Сер. техн. наук», 1959, № 4, с. 72—81.
153. Чембарисов Э. И. О необходимости переброски части стока сибирских рек для улучшения качества речных вод бассейна Аральского моря. — Материалы Всесоюзного совещания «Мелиорация почв Средней Азии, Казахстана и Западной Сибири в связи с переброской части стока сибирских рек в южные районы страны». Пушино-на-Оке, М., Изд-во АН СССР, 1973, с. 130—137.
154. Юнусов Г. Р. Динамика стока рек бассейнов Аральского моря и озера Балхаш в связи с развитием орошения. — «Труды ГГИ», 1974, вып. 221, с. 128—160.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	3
<i>Глава 1. АНТРОПОГЕННЫЕ ФАКТОРЫ СТОКА РЕК И МЕТОДЫ ОЦЕНКИ ВЛИЯНИЯ НА НЕГО ХОЗЯЙСТВЕННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ</i>	5
1.1. Антропогенные факторы стока	5
1.2. Методы оценки влияния антропогенных факторов на сток рек	8
<i>Глава 2. ПРИРОДНЫЕ УСЛОВИЯ, ВОДНЫЕ РЕСУРСЫ И ВОДОХОЗЯЙСТВЕННОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО В БАСЕЙНЕ Р. СЫРДАРЬИ</i>	12
2.1. Водные ресурсы бассейна р. Сырдарьи	13
2.2. Водохозяйственное строительство в бассейне р. Сырдарьи	15
<i>Глава 3. ВОДНЫЙ БАЛАНС ТЕРРИТОРИИ ИРРИГАЦИОННЫХ РАЙОНОВ И ИЗМЕНЕНИЕ ЕГО СТРУКТУРЫ ПОД ВЛИЯНИЕМ ВОДНЫХ МЕЛИОРАЦИЙ</i>	22
3.1. Методика оценки элементов водного баланса	23
3.2. Затраты стока в пределах ирригационных районов в бассейне Сырдарьи	28
Выводы	35
<i>Глава 4. ВОЗВРАТНЫЙ СТОК</i>	35
4.1. Расчет возвратных вод в бассейне р. Сырдарьи	44
4.2. Изменчивость годового стока возвратных вод	49
4.3. Доля возвратных вод в стоке реки	54
4.4. Соотношение возвратных и коллекторных вод	56
Выводы	57
<i>Глава 5. ИЗМЕНЕНИЕ КОЛИЧЕСТВА ВОДЫ В СЫРДАРЬЕ ПОД ВЛИЯНИЕМ ВОДНЫХ МЕЛИОРАЦИЙ В ЕЕ БАСЕЙНЕ</i>	58
5.1. Изменение стока р. Сырдарьи в вегетационный период	61
5.2. Изменение стока р. Сырдарьи в невегетационный период	70
5.3. Изменение годового стока р. Сырдарьи	74
Выводы	76
<i>Глава 6. ИЗМЕНЕНИЕ МИНЕРАЛИЗАЦИИ ВОДЫ Р. СЫРДАРЬИ В СВЯЗИ С РАЗВИТИЕМ ОРОШЕНИЯ В ЕЕ БАСЕЙНЕ</i>	77
6.1. Особенности гидрохимического режима р. Сырдарьи в области формирования и использования стока и способы оценки средней за расчетный интервал минерализации	78
6.2. Изменение общей минерализации воды под влиянием антропогенных факторов	86
6.3. Изменение ионного состава воды р. Сырдарьи под влиянием хозяйственной деятельности	92
6.4. Солевой сток р. Сырдарьи и его изменение под влиянием водохозяйственного строительства	101
Выводы	105

Глава 7. КОЛИЧЕСТВЕННАЯ ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОГО ИЗМЕНЕНИЯ СТОКА В БАССЕЙНЕ р. СЫРДАРЬИ ПРИ ОСУЩЕСТВЛЕНИИ В ПЕРСПЕКТИВЕ ВОДОХОЗЯЙСТВЕННЫХ МЕРОПРИЯТИЙ	107
Выводы	118
Глава 8. ИЗМЕНЕНИЕ МИНЕРАЛИЗАЦИИ И ИОННОГО СОСТАВА ВОДЫ р. СЫРДАРЬИ В БЛИЖАЙШЕЙ ПЕРСПЕКТИВЕ В СВЯЗИ С ПРЕДПОЛАГАЕМОМ РАЗВИТИЕМ ОРОШЕНИЯ В ЕЕ БАССЕЙНЕ	119
Выводы	126
Заключение	126

Труды САРНИГМИ, вып. 58(139)

Ф. Э. РУБИНОВА

ИЗМЕНЕНИЕ СТОКА р. СЫРДАРЬИ ПОД ВЛИЯНИЕМ
ВОДОХОЗЯЙСТВЕННОГО СТРОИТЕЛЬСТВА В ЕЕ БАССЕЙНЕ

Редактор *Н. С. Никольская*

Техн. ред. *Т. П. Сафонова*

Корректоры *Л. Б. Афанасьева* и *А. М. Меретукова*

Т-12642 Сдано в набор 9/II-1979 г.

Подписано к печати 22/VI-1979 г.

Индекс М-М-108. Формат $60 \times 90^{1/16}$. Литер. гарн. Печать офсетная Печ. л. 8,75

Уч.-изд. л. 10,24 Бумага гип. № 1 Зак. 229 Цена 70 коп. Тираж 510 экз.

Московское отделение Гидрометеоиздата.

Москва 107061. Бужениновская ул., 42/1

Фабрика офсетной печати ВНИИГМИ-МЦД

г. Обнинск