В. А. Духовный

ВОДОХОЗЯЙСТВЕННЫЙ КОМПЛЕКС В ЗОНЕ ОРОШЕНИЯ

ФОРМИРОВАНИЕ РАЗВИТИЕ

МОСКВА «КОЛОС» 1984

ББК 40.62
Д85
УДК 631.67

Рецензенты: *А. М. Волынов* (Минводхоз СССР), *В. Л. Ронин* (В/О «Союзводпроект»).

Духовный В. А.

Д 85 Водохозяйственный комплекс в зоне орошения. Формирование, развитие. — М.: Колос, 1984. — 255 с., ил.

Систематизированы особенности водохозяйственных комплексов в пределах речных бассейнов, в которых основным водопотребителем является орошение. Показаны изменения природных условий под влиянием развивающегося орошения и методы направленного воздействия на них. Рассмотрены экологические аспекты водных бассейнов, методы управления и увязка их с освоением крупных массивов новых орошаемых земель.

Для гидротехников, мелиораторов, гидрологов, экономистов зоны орошения.

Д $\frac{3802030100-298}{035(01)-84}$ 6—84

ББК 40.62

631.6

© Издательство «Колос», 1984

ВВЕДЕНИЕ

В Продовольственной программе, принятой на майском (1982 г.) Пленуме ЦК КПСС, отводится большая роль мелиорации земель в увеличении производства сельскохозяйственных продуктов.

Орошаемые земли распространены по всей стране — в зоне пустынь и полупустынь, в зоне степей и даже в зоне неустойчивого увлажнения. Наиболее высокая эффективность капиталовложений отмечена в засушливых районах страны.

Площади орошаемых земель намечено довести к 1990 г. до 23...25 млн. га.

Экономические и социальные факторы настоятельно требуют дальнейшего развития орошения в Средней Азии, Южном Казахстане, Закавказье, Ставрополье и др. В то же время именно в этих регионах наблюдается острый дефицит водных ресурсов. Необходимые темпы развития орошения в аридных районах страны могут быть обеспечены при условии оптимального использования имеющихся доступных и располагаемых природных запасов возобновляемых вод и привлечения в необходимых размерах вод извне в экономически и экологически приемлемых масштабах.

Использование водных ресурсов характеризуется несоответствием режима водопотребления и режима поверхностных водных источников. Для приведения их в соответствие необходимо тесно увязать все виды доступных вод, включая поверхностные, грунтовые, возвратные и другие, сформировать их с целью максимального увеличения располагаемых водных ресурсов в нужном режиме для удовлетворения потребностей народного хозяйства и, наконец, управлять этими водными ресурсами.

Строительство и эксплуатация каскада водохранилищ на реках Волге, Днепре, Ангаре, Сырдарье, освоение и орошение крупнейших массивов пустынных и малоосвоенных территорий площадью в сотни тысяч гектаров, создание тысячекилометровых каналов с расходами в сотни кубических метров в секунду, в том числе и межбассейновых, потребовали разработки схем комплексного использования и охраны водных ресурсов в масштабах бассейнов, республик и государства в целом, а также образования специальных правительственных органов на уровне страны и республик, ответственных за использование и охрану водных ресурсов.

Для обоснования и научного подразделения этих практических мероприятий в отечественной науке оформилось новое направление — «водные ресурсы», которое включает основы теории и практики формирования и использования водных ресурсов (В. Н. Кунин, М. И. Львович, Г. В. Воропаев, Л. В. Дунин-Барковский, С. Л. Вендров, С. Н. Крицкий и М. Ф. Менкель). При становлении

этого направления некоторые ученые предлагают рассматривать водное хозяйство с позиций водохозяйственных систем (ВХС) или водохозяйственных комплексов (ВХК).

Основные задачи водохозяйственных систем (ВХС) или водохозяйственных комплексов (ВХК) включают следующее:

управление водными ресурсами, регулирование и использование их на основе выявления закономерностей колебания ресурсов во времени и распределения по территории;

построение структуры технически и экономически целесообразных водохозяйственных систем, установление народнохозяйственного эффекта как цели ВХС, определение параметров и режима работы ВХС;

управление (эксплуатация) ВХК, в том числе оптимизация режимов водохранилищ и распределение воды между водопотребителями и водопользователями;

прогноз и оценка влияния водохозяйственных мероприятий на окружающую среду, предотвращение или сведение до минимума их неблагоприятного последствия;

охрана вод от загрязнения и разработка мероприятий по обеспечению высокого качества воды в источниках;

осуществление мероприятий по рационализации водопользования и водопотребления с целью минимизации удельных расходов воды во всех отраслях народного хозяйства, особенно в орошаемом земледелии;

формирование, или воспроизводство, водных ресурсов, по М. И. Львовичу, включающее многолетнее регулирование и межбассейновые переброски, увеличение в доступных пределах любых видов возможных для использования водных ресурсов, исключающее вредное влияние на биогеохимические циклы.

Огромное влияние и взаимодействие водных ресурсов и орошаемого земледелия на экономику регионов требуют особого внимания к созданию водохозяйственных комплексов в пределах речных бассейнов с орошаемым земледелием, разработанных в САНИИРИ совместно со Средазгипроводхлопком и другими организациями по формированию ВХК рек Сырдарьи и Амударьи, а также их составных элементов АСУБ Сырдарьи, АСУ ЮГК и т. д.

Автор выражает благодарность сотрудникам САНИИРИ Н. И. Прохоренко, А. И. Тучину, В. Н. Москвитину, В. Б. Виленчику, Н. И. Кутаренко, Р. И. Кадыровой за помощь в работе при подготовке данного издания.

Глава I. СТРУКТУРА И ОСОБЕННОСТИ ВОДОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КОМПЛЕКСОВ В ЗОНЕ ОРОШЕНИЯ

Принципиальный подход к использованию водных ресурсов исходит из следующих положений.

1. Все воды на земле в составе гидросферы находятся в тесном единстве (В. И. Вернадский), которое определяет их взаимодействие и невозможность изменения характера одних каких-либо вод без вмешательства и влияния на другие воды (равно как и на связанные с ними другие природные ресурсы).

2. Человечество при нынешних объемах потребления воды не может сохранить без изменения естественные характеристики водных ресурсов на всем их протяжении и всем распространении. Однако оно должно ограничивать себя лишь возобновляемыми ресурсами, при этом в таких размерах и сочетаниях, чтобы создаваемый долговременный (а не сиюминутный!) комплексный эффект от использования водных ресурсов сопровождался улучшением в целом природных условий и окружающей среды, если некоторый ущерб от отъема воды естественной обстановке неминуем, то необходимо часть получаемого эффекта и средств направить на уменьшение этого антропогенного ухудшения естественных условий.

3. Решение водной проблемы крупного региона или территориальной зоны (бассейна, его части) не должно ограничиваться рассмотрением целесообразности отбора или использованием какого-либо одного вида вод. Необходимо комплексное решение водохозяйственной проблемы региона или бассейна в увязке не только путей его использования, но и охраны водных ресурсов, борьбы за их качество, формирования водных ресурсов на основе координации инженерных, социально-экономических и экологических решений.

4. Развитие водных ресурсов должно основываться на перспективе увеличения его располагаемого объема в сочетании с постоянным осуществлением мер по минимизации отбора воды всеми потребителями и соблюдению требований окружающей среды всеми водопользователями.

ФОРМИРОВАНИЕ ОТРАСЛИ «ВОДНОЕ ХОЗЯЙСТВО» И ЕЕ СТРУКТУРА

Водное хозяйство и мелиорация земель как отрасль сформировалась в нашей стране в последние 15...20 лет. Ранее осуществлялись строительство и эксплуатация сооружений одноцелевого назначения различными министерствами и ведомствами, возводились объекты многоцелевого плана (Беломорско-Балтийский канал, каналы Волго-Дон, Москва-Волга, Днепрогэс), позже каскады узлов и сочетаний их также комплексного назначения (Волжская ГЭС, гидроузлы на Ангаре, Сырдарье и ее притоках, Днепре и т. д.).

Некоторое распространение получил опыт создания специальных межведомственных и межреспубликанских комитетов и комиссий по отдельным бассейнам: например, комитет по Десне (1968 г.), включающий представителей Украины, Белоруссии и РСФСР; комитет по Дону и т. д. Начиная с 1964 г. водное хозяйство и мелиорация оформились в виде самостоятельной отрасли созданием сначала Госкомитета по орошаемому земледелию, а с 1965 г. министерства мелиорации и водного хозяйства. Управление использования водных ресурсов, его планирование, перспектива и развитие получили организационное оформление в деятельности республиканских министерств водного хозяйства, а также бассейновых органов по использованию и охране водных ресурсов.

За истекшие после майского (1966 г.) Пленума ЦК КПСС годы мелиорация земель и водное хозяйство в составе специального министерства определились в качестве самостоятельной отрасли народного хозяйства страны. Отраслевой характер мелиорации и водного хозяйства нашел свое отражение в функциональном, организационном, техническом и целевом единстве как части народного хозяйства страны.

Из имеющихся четырех сфер народного хозяйства (промышленность, сельское хозяйство, природопользование и строительство) на первый взгляд водное хозяйство и мелиорация больше всего подходят к природопользованию, однако они имеют свою значительную долю в строительстве (наряду с самыми большими строительными отраслями — приблизительно 6...7 млрд. р. в год), активно участвуют в сельском хозяйстве в качестве определяющего фактора экономических и социальных показателей. В то же время водное хозяйство, имея свою четкую задачу в формировании, возобновлении и охране водного ресурса как природного элемента, является частью сферы природопользования, так же как лесные ресурсы, полезные ископаемые и т. д.

Своеобразно значение мелиорации и водного хозяйства в сельском хозяйстве и в агропромышленном комплексе страны.

Мелиорация и водное хозяйство в составе АПК играют такую же активную роль, как и само растениеводство, так как они влияют на технологию возделывания сельскохозяйственных культур и обработку почвы, на выбор направления сельскохозяйственной специализации, а также на формы и величины активного взаимодействия со всеми видами природных ресурсов. Поэтому отрасль «мелиорация и водное хозяйство» следует понимать как самостоятельную, расположенную на стыке сфер природопользования, сельского хозяйства и строительства, доля которой в различных сферах изменяется в зависимости от изменения функциональной направленности по зонам и периодам развития.

Понимание роли и места отрасли в народном хозяйстве очень важно для определения структуры ВХК, так как в них как в первичной ячейке полностью отражаются отраслевые принципы и задачи.

Целым рядом правительственных решений очень много сделано по завершению формирования отрасли в единых организационных рамках. Однако единое управление водными ресурсами в некоторых ведомствах все еще раздроблено. Например, разведкой и охраной подземных вод ведает Министерство геологии СССР; строительством и эксплуатацией гидроэлектростанций и связанных с ними элементов водохозяйственных комплексов — Минэнерго СССР; использованием воды в интересах рыбного хозяйства — Министерство рыбного

хозяйства СССР; учетом, анализом, кадастром и прогнозом поверхностного стока — Государственный комитет СССР по гидрометеорологии и контролю природной среды и т. д. (Озиранский, 1981).

Такая разобщенность бесспорно не способствует единому управлению водными ресурсами в интересах общества.

При рассмотрении состояния использования водных ресурсов в стране можно увидеть (табл. 1), что, хотя

1. Характеристика использования водных ресурсов в СССР

Экономический район	Территория, тыс. км²	Общие водные ресурсы*, км³	Обеспеченность, м³/км²	Водозабор из природных объектов в 1980 г., км³	Использовано в 1980 г., км³	В том числе в сельском хозяйстве, км³	Степень использования в 1980 г., %
Прибалтика и Белоруссия	396,7	110,0	0,277	7,0	6,0	0,1	5,45
Север Европейской части СССР	1 926,1	735,0	0,381	35,1	34,4	0,2	4,68
Центральный	652,9	138,0	0,212	3,3	2,9	0,1	2,10
Украина и Молдавия	634,0	208,0	0,328	34,2	30,7	7,9	14,80
Урал	680,4	115,0	0,169	6,6	5,9	0,27	5,13
Западная Сибирь	2 427,2	544,0	0,228	6,9	6,6	0,12	1,19
Восточная Сибирь	4 122,8	1 109,0	0,268	8,5	8,4	0,6	0,76
Дальний Восток	6 215,9	1 820,0	0,292	3,3	3,1	0,5	0,17
Поволжье	680,1	292,0	0,430	17,9	14,5	6,1	4,96
Казахстан	2 717,3	113,0	0,042	47,0	39,2	30,0	34,70
Средняя Азия	1 277,1	131,0	0,103	120,4	97,6	85,5	74,40
Северный Кавказ	355,1	70,4	0,198	31,7	23,4	13,7	33,20
Закавказье	186,1	79,9	0,430	22,3	19,1	12,3	23,90
Всего в СССР	22 271,4	5 475,3	0,245	344,1	291,8	157,4	5,33

* Общие водные ресурсы включают поверхностные и часть подземных вод.

в целом степень использования водных ресурсов в стране составляет 5,4%, в отдельных зонах она превышает 30, а кое-где и 70%. Для этих более дефицитных районов водообеспеченность с каждым годом становится все острее. Поэтому назрела необходимость централизации управления и использования всех водных ресурсов в стране в едином органе.

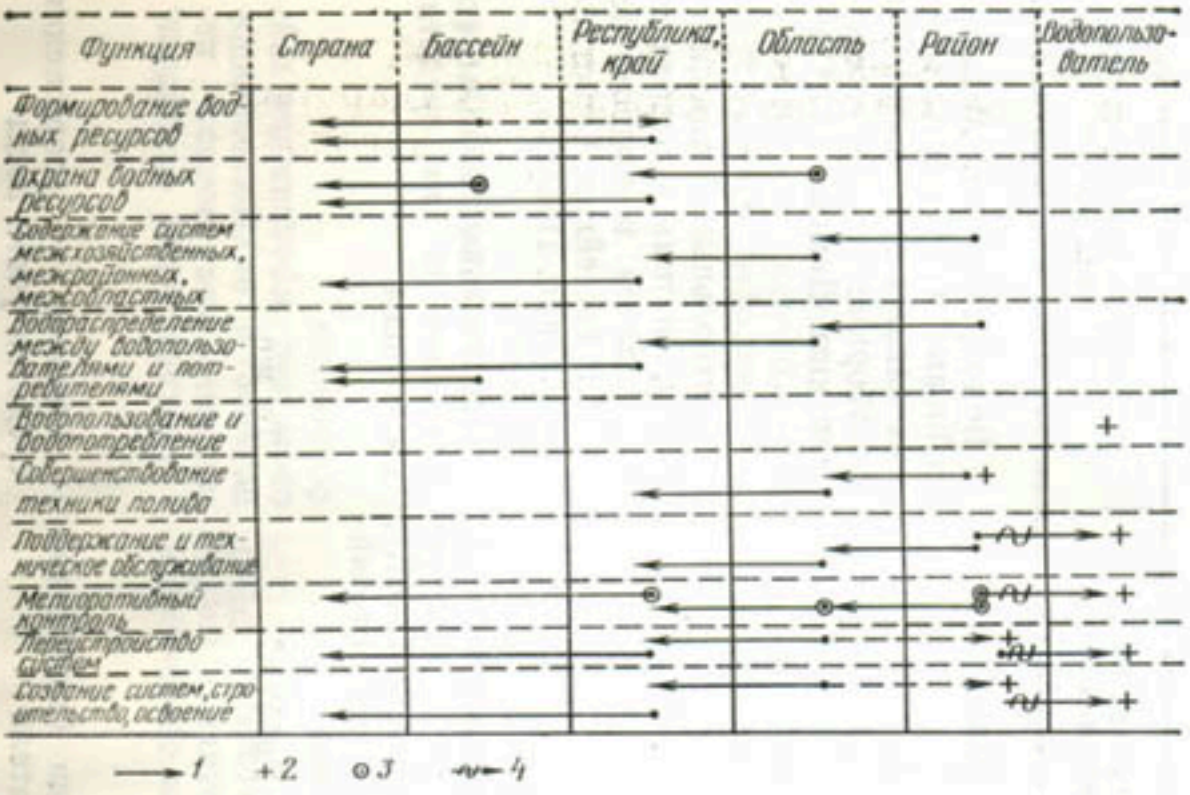


Рис. 1. Распределение основных функций «отрасли» по иерархии:
1 — направление подчиненности; *2* — зона непосредственного производства; *3* — зона контроля; *4* — направление управления.

Анализ и обобщение опыта организации водного хозяйства позволили выявить тенденцию перехода к функциональной структуре управления отраслью. Эти тенденции наиболее четко проявились в Узбекистане, Белоруссии, Украине — республиках с наиболее интенсивно развивающимися объектами отраслевого плана. Их опыт показывает высокую действенность и удобство функциональной специализированной структуры и эффективность ее эксплуатации (табл. 2).

Иерархия определения функций по уровням управления приведена на рисунке 1, из которого видно, что формирование и охрана водного ресурса осуществляются на верхних уровнях иерархии (страна, республика, реже область), а функции водораспределения, водоподачи и другие, особенно связанные с мелиорацией земель, — на более низких. При этом все функции, кроме верхних двух, выполняются в основном в пределах административных границ силами соответствующих организаций областного и районного уровней.

Для формирования и охраны водного ресурса территориальной границей должны являться границы бассей-

2. Основные функции эксплуатационных органов водохозяйственных комплексов

Функция	Задача	Какими организациями осуществляется	С помощью каких сооружений, мер
Формирование используемых водных ресурсов	Перевод естественных ресурсов рек, озер, других источников в состояние по качеству, количеству и месту удовлетворяющее потребностям общества	Служба управления бассейнами	Водохранилища. Межбассейновые и внутрибассейновые каналы переброски. Водозаборные сооружения. Плотины. Дамбы
Охрана водных ресурсов	Поддержание требуемого качества воды и предотвращение вредного влияния антропогенных процессов на водные ресурсы	То же	Контрольные станции и посты, система контроля за водоподачей и водоотведением в бассейнах. Очистные сооружения. Попуски
Содержание межхозяйственных и внутрихозяйственных оросительных каналов и сооружений	Надзор за состоянием объектов, обеспечение заданного режима работы, предотвращение разрушений и повреждений	Управление оросительных систем (УОС), управление машинным каналом (УМК), управление на внутрихозяйственном уровне	Оросительные каналы, сооружения на них, средства учета воды
Водораспределение между потребителями различных направлений (сельское хозяйство, промышленность и т. д.)	Удовлетворение потребностей организаций-водопользователей в воде	ОблУОС и РайУОС	То же
Водопользование и внутрихозяйственное водораспределение	Доведение воды до непосредственного технологического потребления внутри	Организации (хозяйства)-водопользователи	Каналы, сооружения, средства учета воды

	хозяйства, включая систему внутрихозяйственного деления, транспорта и подачи воды		
Совершенствование техники полива	Внедрение передовых методов и техники полива, разработка рекомендаций для хозяйств, оснащение их необходимым оборудованием, монтаж, пуск-наладка, техническое обслуживание	Хозрасчетные организации по технике полива в системе минводхозов, РПО «Полив»	Дождевальные установки, машины для полива, капельное и внутрипочвенное орошение, передвижные трубопроводы
Поддержание системы и сооружений в рабочем состоянии	Организация профилактической службы ремонтов для обеспечения постоянной высокой работоспособности водохозяйственных сооружений	Специализированные ремонтно-строительные организации	Система технического обслуживания
Контроль за мелиоративным состоянием земель. Переустройство оросительных систем	Повышение естественного плодородия земель. Повышение технического уровня оросительных систем, улучшение мелиоративного состояния, сокращение нерационального использования воды	Управления мелиоративной службы. Главные управления по капитальному строительству и переустройству МВХ СССР	Коллекторы, дренаж, наблюдательная сеть, лаборатории, почвенные экспедиции
Создание водохозяйственных систем и их расширение в процессе строительства	Ввод новых земель, сооружений, систем	Главные управления по строительству и освоению земель	Строительные базы, индустрия, организация

на, исходя из единства всех природных вод в его пределах.

Отличие функций управления, осуществляемых на разных уровнях иерархии, не означает разобщенности структурного единства водного хозяйства и мелиорации как в отрасли, так и в ее составляющих.

ВОДОХОЗЯЙСТВЕННЫЕ КОМПЛЕКСЫ И ДВА УРОВНЯ ИХ ИЕРАРХИИ

Первичной основой построения отрасли, в которой отражаются особенности форм развития, является ВХК.

ВХК — водохозяйственная система, состоящая из совокупности объектов, предприятий, связей между ними, динамично развивающихся в сочетании с определенными природными условиями.

Основными особенностями таких систем являются: связи, основанные на балансе имеющихся, забираемых и потребляемых объемов воды, постепенного их переноса и взаимодействия; возможность использования различных видов вод и их взаимозаменяемость на основе единства вод; большое разнообразие применяемого водного ресурса, определяющего огромное количество внешних связей; влияние водного ресурса не только на обслуживающие отрасли, но и на развитие и размещение производительных сил.

Наша страна стоит перед необходимостью создания единой водохозяйственной системы — ЕВХС (Воропаев, 1976), которую автор представляет как организационно-техническую систему, выполняющую функции административные, экономические, социальные по обеспечению удовлетворения нужд народного хозяйства в масштабах страны. Эта система распадается на ВХС крупных регионов: европейская территория страны, Днепровско-Дунайский, срединный регион (включая Среднюю Азию и Обь-Иртышский бассейн), а затем на частные региональные с включением в состав ВХС функциональных или отраслевых систем — оросительно-осушительных крупных регионов), канализационных, транспортных и т. д.

Наиболее целесообразно водное хозяйство страны развивать как организационную единую ВХС, подразделенную в масштабах страны на динамично формирующиеся водохозяйственные комплексы (ВХК).

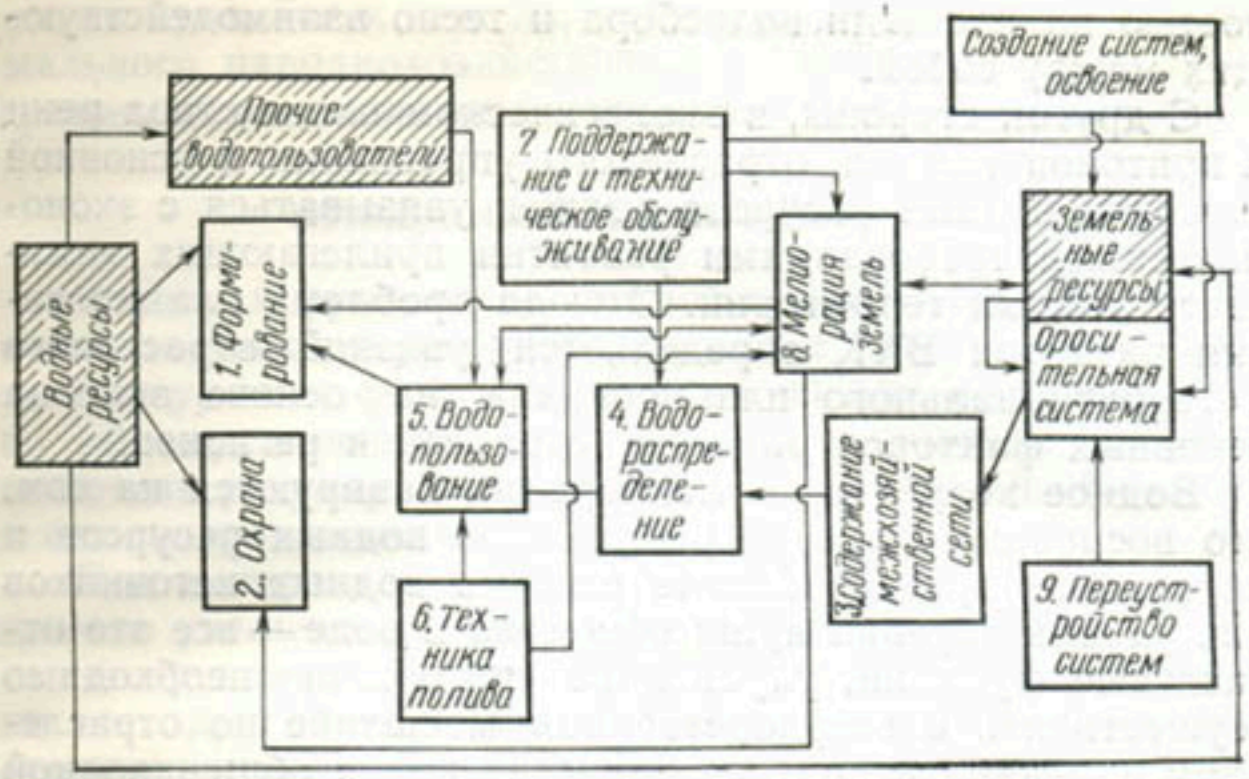


Рис. 2. Схема функциональных связей ВХК.

При рассмотрении схемы взаимосвязей функциональных составляющих отрасли и ВХК (рис. 2) легко увидеть, что, несмотря на их кажущееся отличие, все они четко увязаны в своем природном и производственном единстве.

Целесообразно границы водохозяйственного комплекса очерчивать по границам природно-экзогенной системы — в пределах границ речного бассейна. При этом три главные составляющие — формирование, охрана и распределение на перспективу (планирование) — должны осуществляться в пределах этих природных бассейновых разностей, а использование, воспроизводство и эксплуатация оросительных систем — на уровне территорий, подверженных воздействию и влиянию водохозяйственных мероприятий.

В структуре ВХК соответственно также должно быть выделено два уровня — уровень формирования и охраны (бассейновый) и уровень использования, потребления (территориальный). В построении такой двухступенчатой структуры имеется два совершенно четких аспекта — природно-экологический и экономический.

С точки зрения первого аспекта основой двух уровней ВХК является наличие двух циклов биогеоценоза — бассейнового и территориального, характеризующихся ненарушенной или нарушенной антропогенной деятель-

ностью на площади водосбора и тесно взаимодействующих между собой.

С другой стороны, в экологическом плане ствол реки и притоков как ось отраслевого управления и основной источник водных ресурсов должен увязываться с экономическими требованиями развития прилегающих административных территорий. Отсюда проблема планирования развития ВХК определяется увязкой отраслевого и территориального планирования на основе анализа основных факторов развития отраслей и регионов.

Водное хозяйство и мелиорация базируются на том, что воспроизводство, формирование водных ресурсов и их охрана, приспособление режима водных источников для удовлетворения нужд общества в воде — все это отраслевые функции, управление которыми необходимо осуществлять в государственном масштабе по отраслевому признаку исходя из единства вод и общенародной собственности на воду.

Задачей ВХК является обеспечение потребностей народного хозяйства в воде. Здесь начинает проявляться зональная (или региональная) продуктивность воды в сочетании с земельными, трудовыми, материальными и другими ресурсами, управление и развитие которых является задачей регионального планирования.

Если территориальные планы составляют, исходя из сбалансированности региональных или зональных темпов и пропорций развития, использования своих ресурсов и удовлетворения потребностей с учетом ограничений, накладываемых социальной, природной и экономической сферой, то отраслевое развитие основывается на своих глобальных целях исходя из задач народного хозяйства, с учетом оптимизации использования отраслевых ресурсов и перспектив, открываемых научно-техническим прогрессом.

В то же время необходимо учитывать и народнохозяйственную цель отрасли, состоящую в создании необходимых условий для удовлетворения потребностей в целом народного хозяйства в воде и с помощью водных мелиораций — в решении проблемы сельского хозяйства.

Оптимальное сочетание отраслевого и территориального уровней развития ВХК должно основываться на сопоставлении потенциалов развития в различных региональных зонах бассейна в увязке с дифференциацией затрат на воспроизводство и использование водных ресур-

сов, в привязке к тем же зонам и на получение максимального народнохозяйственного эффекта в пределах границ, ограничивающих величину ресурса — бассейна.

ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ СТРУКТУРА ВХК

Основная функция, возлагаемая на ВХК, — **формирование водных ресурсов** — приведение естественных водных ресурсов в форму, необходимую для использования по объему, качеству, режиму. Формирование должно включать регулирование стока (многолетнее и сезонное) и его воспроизводство.

Под воспроизводством водных ресурсов следует понимать увеличение объема естественных водных ресурсов в пределах бассейна сверх среднего многолетнего за счет других источников: возвратных вод, ледников, осадков, подземных вод и т. д.

Возвратные воды, особенно в условиях межгорных впадин и долин, таких, как Ферганская, Гиссарская, Сурхан-Шерабадская, Чуйская и других, являются активным средством увеличения располагаемых ресурсов своей антропогенной составляющей, так как и сбросные, и дренажные воды, образующиеся в результате использования у всех водопотребителей, не имеют никаких других базисов приема воды, кроме ствола реки.

Переброска стока рек из бассейна в бассейн как средство ликвидации дефицита в маловодных реках приобрела у нас в стране большое распространение, особенно в последние годы, благодаря интенсивному развитию машинного водоподъема.

Перспективный источник воспроизводства водных ресурсов, который пока находится в стадии поисков и экспериментальных работ, особенно в бассейнах засушливых зон, — искусственное увеличение стока рек путем активных воздействий на природные процессы, формирующие его.

Начиная со второй половины шестидесятых годов за рубежом и у нас в стране (на Украине в районе Днепропетровска) проводятся работы по использованию эффективности засева различного типа облаков йодистым серебром, а также рядом других льдообразующих или гигроскопических элементов. Результаты этих работ разноречивы (прибавка от 0 до 24%). Однако на основании их сделан прогноз, основанный на дифференциро-

ванной эффективности засева на различные облака и их участие в общегодовом объеме осадков.

Ориентировочная добавка к среднегодовой сумме осадков составила 8...12% (УкрНИИГоскомГМС).

Другой метод, который может служить потенциальным источником искусственного пополнения речного стока, — искусственное стаивание ледников.

Среди возможных воздействий на гляциальные процессы ученые выделяют усиление таяния ледников, увеличение таяния снегового покрова, искусственный спуск лавин, использование вод ледниково-подпрудных и завальных озер и другие, отмечая наиболее перспективное усиление таяния ледников путем зачернения их поверхности. При этом усиление поглощения солнечной энергии вызывает ускорение таяния, увеличение ледниковой составляющей речного стока.

Однако, рассматривая возможность увеличения стока ледников, необходимо помнить, что они являются основным регулятором многолетнего стока рек и хранителем запасов пресных вод. Поэтому усиление таяния ледников необходимо рассматривать только как средство борьбы с катастрофическим маловодьем.

Источником формирования водных ресурсов являются также и подземные воды. Учитывая, что все виды поверхностных вод тесно связаны с подземными, необходимо управление всеми водами в бассейне сосредоточить в одном месте в составе ВХК.

Таким образом, функция формирования или воспроизводства водных ресурсов, осуществляемая с помощью целого ряда сооружений и мероприятий, которые должны входить в состав ВХК, заключается в увеличении водных ресурсов и перерегулировании режима рек в заданном направлении. К таким сооружениям относятся все виды водохранилищ сезонного и многолетнего регулирования, комплексы каналов, сооружений, насосных станций по межбассейновым переброскам стока, управление режимом и сбросом возвратных вод, а также режимом осадков и стаивания ледников, создание и эксплуатация крупных централизованных систем водозаборов (постоянных или временных) из подземных вод (рис. 3).

Следующая функция ВХК — **охрана водных ресурсов.** В настоящее время для этой цели созданы специальные органы в виде бассейновых и территориальных

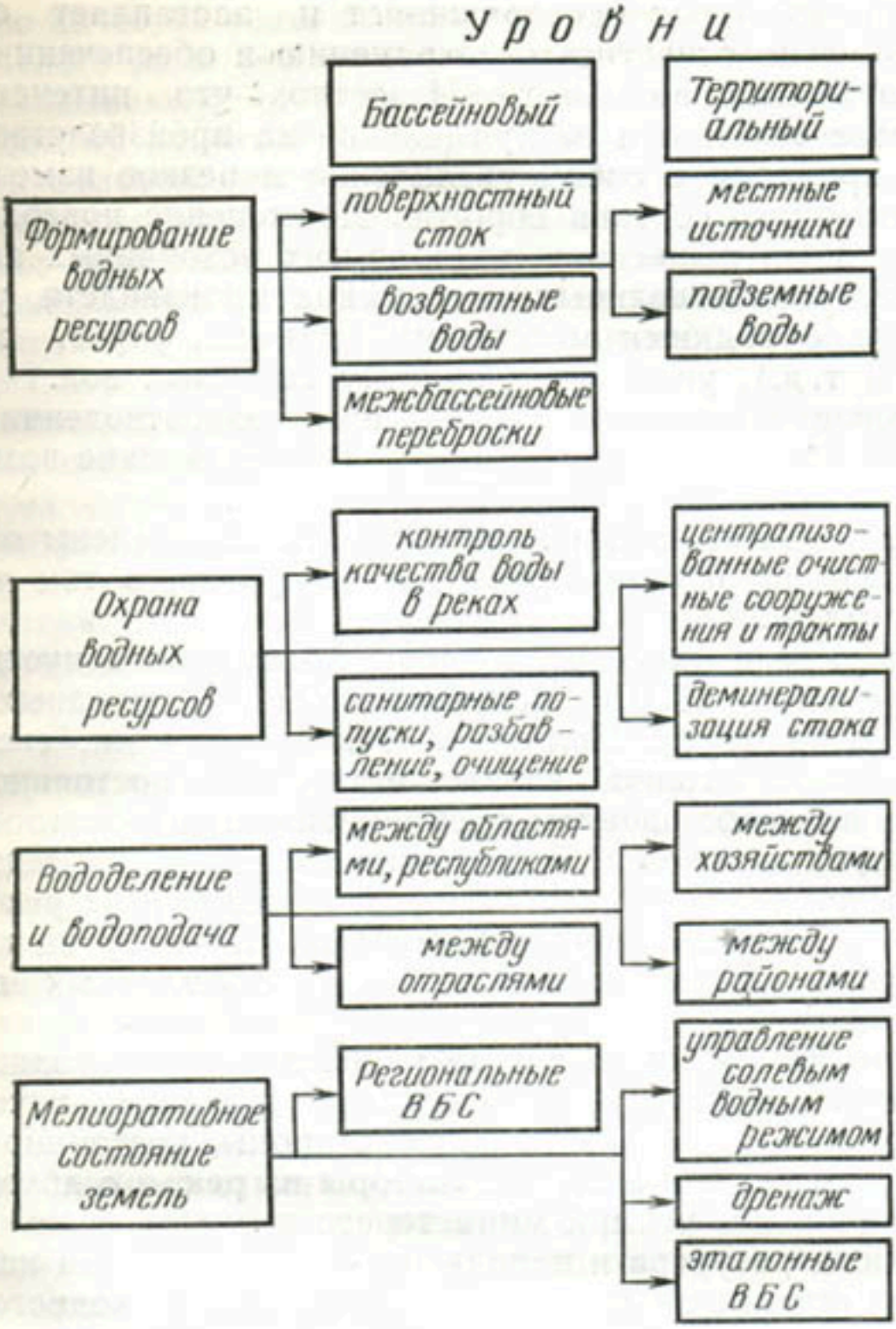


Рис. 3. Структура ВХК и его уровни управления.

инспекций, выполняющих контроль за сбросами воды по качеству, выдающие разрешение на специальное водопользование, согласовывающие годовые и пятилетние планы по использованию и охране всех вод в стране. Это бесспорно способствует улучшению качества воды в реках, но тем не менее эти меры не всегда оказываются достаточно эффективными.

Мировой опыт настораживает и заставляет очень внимательно отнестись к сохранению и обеспечению качества воды в водоемах. Известно, что интенсивное развитие техники и ее применение на производстве и в быту принесли с собой увеличение и резкое изменение качественного состава сбросов. Применение поверхностно-активных веществ и ряда других устойчивых адсорбентов, рост отдельных химических производств, работающих с редкими металлами (кадмий, ртуть, хром, цинк и т. д.), усложняют очистку сбросных вод.

Большая нагрузка сбросов при водоотведении на водные источники сводит на нет разбавляющие возможности и самоочищающие свойства воды.

Законодательством нашей страны определены основные цели по охране природных ресурсов, в том числе и водных.

Впервые в мире установлены предельно допустимые концентрации (ПДК) содержащихся 487 вредных веществ в водоемах. Пользуясь этими нормами, система контроля за охраной водных источников постоянно работает над соблюдением предприятиями-водопользователями этих положений и за осуществленной ими деятельностью по созданию очистных сооружений и их реконструкции. Широко ведутся работы по переводу на почти замкнутые циклы водоснабжения промышленных предприятий.

В то же время не всегда удается всеми указанными методами добиться существенного улучшения качества воды в реках, так как, с одной стороны, постоянно увеличиваются суммарные водозаборы из рек, а с другой — разрозненность усилий министерств и ведомств по охране водных ресурсов и неподконтрольность их (за исключением штрафных функций) Министерству водного хозяйства СССР как органу, несущему ответственность за состояние водных ресурсов. Зачастую интересы узковедомственных предприятий-водопотребителей расходятся с требованиями, предъявляемыми к охране вод.

В настоящее время органы Минводхоза СССР имеют возможность: давать специальные санитарные попуски, для того чтобы содержание вредных составляющих стало ниже ПДК, и строить специальные водоотводящие тракты, не допускающие попадание загрязненных вод в ствол реки (в целом по году или в определенные периоды). Однако эти мероприятия способствуют улуч-

шению качества воды за счет потери ее как ресурса, что для целого ряда рек страны просто недопустимо исходя из складывающихся в их бассейнах острых дефицитов. Поэтому необходимо широко развивать строительство централизованных региональных (или зональных) крупных очистных межведомственных сооружений по очистке промышленных, хозяйственных бытовых стоков и деминерализации солоноватых и засоленных вод, сбрасываемых с сельскохозяйственных полей, а также подземных.

Возможна очистка возвратных вод с сельскохозяйственных полей от химикатов с помощью отстойников, в которых размещают определенные виды водорослей и применяют хлореллу. В результате, например, воздействия интенсивно развивающейся культуры хлореллы концентрация рогора — одного из сильнейших фосфорорганических ядохимикатов — в сбросной воде снижается за трое суток на 50...70% при ее минерализации до 10 г/л (А. П. Орлова, А. Н. Кузичкин).

Другим методом улучшения качества воды, пока еще недостаточно используемым, является принудительное аэрирование воды, совмещаемое с пропуском загрязненных вод через сбросные сооружения с перепадами.

Следующая функция — **водораспределение**, которое осуществляется как на бассейновом, так и на всех более низких уровнях вплоть до подачи воды потребителю в промышленности и на поле в сельском хозяйстве с помощью водозаборов и вододелителей, а также насосных станций — постоянных и передвижных.

Необходимо отметить, что точность и четкость выполнения этой функции во многом определяют управляемость всего ВХК, так как массово-балансовое единство и ограниченность вод приводят к необходимости строгого деления их в соответствии с возможностью суммарного ресурса и соблюдением интересов народного хозяйства в целом.

Тем не менее именно здесь из-за многоступенчатости уровней, недостаточной информативности, а иногда искажения реального положения возникает наибольшее отклонение от принятых режимов управления. Можно привести ряд примеров как по несоблюдению режимов распределения воды по самым верхним уровням вододеления — бассейнам между республиками, так и по самым низким — между хозяйствами и отделениями. Но

если на верхних бассейновых уровнях эти колебания определяются единицами процентов и редко достигают 8...10%, то на нижнем достигают десятков процентов.

Для повышения управляемости и четкости водораспределения необходимо: сократить ступени водораспределения — бассейн — республика — область — оросительная система (район) — поле, ликвидировав искусственное деление оросительной системы на внутрихозяйственную и межхозяйственную (см. гл. III); строго соблюдать правило, что все головные сооружения, подающие воду в нижнюю ступень, находятся в распоряжении высшей организационной ступени: водовыпуск из реки в областной канал — в ведении службы бассейна, водовыпуск из межрайонного канала — в ведении области и т. д., что будет способствовать достоверности команд по режиму и информации об исполнении; улучшить оснащение и переход всех головных сооружений сначала бассейнов, а затем и нижних уровней на автоматическую систему информации (на первом этапе) и управления.

Водоподача непосредственно связана с водораспределением и осуществляется с ней одновременно всеми теми же уровнями управления. Для нее также справедливы все предложения по совершенствованию, которые были приведены выше по водораспределению. Отметим, что уже сейчас имеется целый ряд крупных межреспубликанских каналов, где водоподача и водораспределение осуществляются организациями союзного подчинения из бассейна вплоть до районов и кое-где хозяйств.

Среди них необходимо назвать в первую очередь отлично работающее управление эксплуатации канала им. Кирова, обслуживающее водоподачу из реки Сырдарьи и осуществляющее водораспределение между Узбекской ССР и Казахской ССР на территории Голодной степи; Управление амударьинских каналов, выполняющее те же функции в нижнем течении Амударьи в интересах Узбекской ССР и Туркменской ССР и др.

Функции мелиоративной службы, технического обслуживания, совершенствования техники полива и другие выполняются на территориальном уровне (областном, районном, хозяйственном) с помощью сооружений и аппарата оросительных систем и сводятся в республиканских органах. Некоторые сугубо специализированные предприятия также функционируют только на респуб-

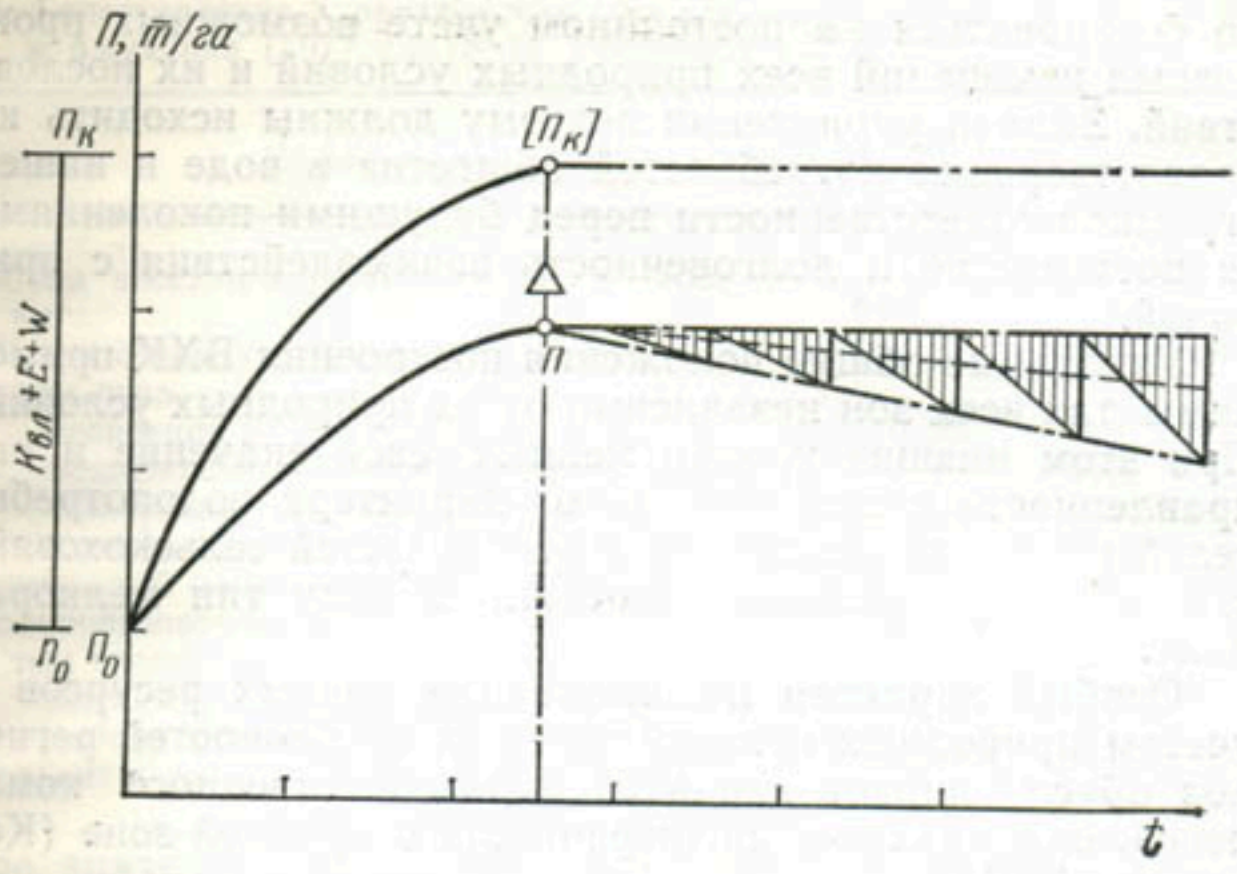


Рис. 4. Изменение продуктивности земель и ее связь с работоспособностью.

ликанском уровне. Система управления ВХК во всех уровнях представлена на рисунке 3.

ВХК обязаны удовлетворять требованиям экономики и социальной среды общества в воде в условиях нарастающего дефицита (а кое-где уже наступившего) всех водных ресурсов. При этом если раньше человечество ограничивалось использованием водных ресурсов без особого вмешательства в их запасы и формирование, то теперь, с начала тридцатых годов XX века, возросшие потребности как в водопользовании, так и в водопотреблении заставили его интенсивно вмешиваться в формирование водных ресурсов путем строительства водохранилищ, межбассейновых каналов переброски, изменения, изъятия или пополнения статистических запасов подземных вод и т. д.

Одновременно сами масштабы антропогенного вмешательства в изменение режима, объема и качества водных ресурсов всех видов (поверхностных, подземных и даже морских) стали настолько значительными, а отрицательное их проявление и влияние на другие природные ресурсы (почвы, грунтовые воды, климат и т. д.) столь велики, что управление водными ресурсами долж-

но базироваться на постоянном учете возможных прогнозных изменений всех природных условий и их последствий. Задачи управления поэтому должны исходить из удовлетворения потребностей общества в воде и нашей огромной ответственности перед будущими поколениями за постоянство и долговечность взаимодействия с природой.

Указанные общие положения построения ВХК применимы для всех зон независимо от их природных условий. При этом низшие уровни меняют свое значение и направленность в зависимости от характера водопотребителей и водопользователей и особенностей сельскохозяйственного производства (имеется в виду тип мелиорации).

Особый характер использования водных ресурсов с учетом природных и хозяйственных особенностей регионов обуславливает характер водохозяйственного комплекса, придавая ему специфичность в аридной зоне (Костяков, 1961).

Особенности водохозяйственных комплексов в аридной зоне состоят в следующем.

1. Из двух видов использования воды обществом — водопользования и водопотребления — для аридной зоны большее значение имеет водопотребление. При этом ведущими отраслями водохозяйственных комплексов являются здесь водопотребляющие, в первую очередь — орошаемое земледелие.

Для других зон водохозяйственные комплексы создают в основном, исходя из главенствующей роли водопользователей и лишь отчасти водопотребителей (например, структура водопотребления по Амударье и Волге, табл. 3). В зоне избыточного и недостаточного увлажнения суммарные потери стока составляют 3,1% от годового, суммарный водозабор 11,8%, водопользование более 300%, а в аридной зоне потери стока достигают 77% (в некоторых бассейнах больше), суммарный водозабор до 90%, а водопользование намного меньше. Исходя из этого вытекают все особенности ВХК в аридной зоне.

2. Превалирующее значение водопотребления в аридной зоне изменяет сток рек не только по режиму, как при преобладающем водопользовании (гидроэнергетика и так далее, когда режим реки подчиняется требованиям водопользователей, но и по объему и качеству. Осо-

3. Сопоставление характеристик стока и водопотребления рек Волги и Амударьи (1977 г.) (К И. Воскресенский и др.)

Показатель	Волга	Амударья
Объем восстановленного стока в год, км³	217	60,2
Потери стока, км³/%	6,79/3,1	46,5/77,2
В том числе:		
испарение из водохранилищ	2,07/0,95	0,6/1,0
безвозвратное водопотребление	3,25/1,49	45,9/76,2
переброска из бассейна в другой бассейн	1,47/0,68	—
Суммарный водозабор, км/%	25,7/11,8	50,2/83,3
Водопользование, км³	675,05	21,0
В том числе:		
энергетика	639,85	18,2
рыбное хозяйство	35,2	2,8
Процент к стоку	311	34,8

бое значение имеет здесь процесс формирования под влиянием водопотребления возвратных вод, резко отличающихся по режиму, качеству и объему от естественных. При этом в аридной зоне вследствие особенностей речных долин в межгорных впадинах возможно многократное использование возвратных вод, что создает превышение суммарного водопотребления в реке над располагаемыми водными ресурсами речных бассейнов.

Так, за 1970—1981 гг. по реке Сырдарье при средней обеспеченности стока, близкой к 50%, суммарный водозабор на 2,4% превысил естественные водные ресурсы в зоне формирования, а в отдельные годы (1974—1975, 1975—1976, 1976—1981) это превышение колебалось от 15 до 30%. Причина — активное участие возвратных вод в формировании располагаемых водных ресурсов, величина которых колеблется от 40 до 60% (табл. 4).

Одновременно характер отбора пресных вод и формирования возвратных при орошении определяет характер ухудшения качества воды в основном под действием минерализации дренажного стока, доли сбросного стока и содержания в них пестицидов и других веществ.

3. Большая величина отбора стока в аридной зоне может привести к значительным (иногда катастрофическим) изменениям бессточных морей в дельтах рек и даже в морских экстуариях.

4. Динамика располагаемого суммарного ресурса поверхностных вод бассейна реки Сырдарьи, км³

Годы	Ресурсы естественного стока в зоне формирования	Обеспеченность, %	Возвратные воды	В том числе		Итого ресурсов	Процент возврата	Суммарный водозабор
				подрусловой сток	дренажно-сбросные воды			
1970—1971	38,9	23	16,8	6,3	10,5	55,7	43,2	32,7
1971—1972	34,9	45	16,3	6,0	10,3	51,2	46,7	34,1
1972—1973	33,7	55	17,7	7,6	10,1	51,4	52,5	33,9
1973—1974	38,8	25	15,9	5,4	10,5	54,7	40,9	35,4
1974—1975	21,9	99	13,0	5,5	7,5	34,9	59,3	28,8
1975—1976	24,7	95	12,5	5,2	7,3	37,2	50,6	30,1
1976—1977	28,4	73	15,2	6,3	8,9	43,6	53,5	31,5
1977—1978	30,0	67	15,5	5,9	9,6	45,5	51,6	31,1
1978—1979	32,5	60	16,2	6,0	10,2	48,7	49,8	34,1
1979—1980	38,0	25	16,4	4,9	11,5	54,4	43,1	34,7
1980—1981	28,8	75	16,7	5,7	9,0	44,7	59,6	31,6
Всего	349,8							358,0

4. Структура ВХК состоит из верхнего (формирование, охрана, управление водными ресурсами бассейна) и нижнего (транспортировка, распределение, водоподача водопотребителям вплоть до хозяйств и сбор, отвод и управление грунтовыми, сбросными и дренажными водами) уровней. В условиях избыточного увлажнения управление верхним уровнем ВХК может рассматриваться исходя из возможностей оптимизации условий для водопользования при удовлетворении требований водопотребителей по объему водозабора, отметкам забора и приема воды. В аридной зоне требования водопотребителей и водопользователей настолько тесно увязаны между собой при ограниченных обычно водных ресурсах, и водопотребление настолько активно влияет на возвратные воды и отсюда на сток реки, что управление этими уровнями надо проводить в тесной взаимоувязке.

Задача водной мелиорации в аридной зоне — создание устойчивого орошаемого земледелия.

5. Водное хозяйство и мелиорация вносят изменения в сложившиеся в естественных условиях два вида биогеохимических циклов (биогеоценозов) — территориальные (малые) и бассейновые (большие).

В аридной зоне естественные территориальные биогеоценозы отличаются низкой продуктивностью, которая

вследствие дефицита влаги всегда в несколько раз ниже той потенциальной возможности, которая создается здесь климатическими, энергетическими и почвенными условиями. Поэтому развитие орошения настолько резко изменяет интенсивность этого цикла, что требует очень осторожного и внимательного отношения к контролю за изменением всех составляющих балансов и природных условий.

В аридной зоне происходит постоянное изменение (по мере развития орошения) большого бассейнового цикла со стабилизацией на уровне исчерпания водных ресурсов в крайне осложненном для функционирования низовьев балансе воды, солей и т. д.

Отсюда возникают очень важные задачи для управления ВХК в аридной зоне: постоянно контролировать использование водных ресурсов, сокращая на всех уровнях и этапах безвозвратное водопотребление; осуществлять непрерывно планирование для различных временных этапов уровня предельного использования водных ресурсов в бассейне каждой реки исходя из стабилизации на определенном уровне бассейнового круговорота с обязательной увязкой минерального баланса в бассейне [временные этапы должны характеризовать для каждого периода (10...15 лет) определенный технический уровень систем управления ВХК и возможную степень доведения ВХК до этого критериального уровня за предстоящий отрезок времени]; наметить предел использования собственных водных ресурсов на технически прогнозируемом на далекую перспективу уровне; определить для каждого временного этапа наряду с показателями экологической эффективности развития возможные экологические изменения в зонах влияния речного бассейна, особо в низовьях, бессточных морях и т. д.

Глава II. ОРОШЕНИЕ—ОСНОВА ПЛАНОМЕРНОГО РАЗВИТИЯ ВОДОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КОМПЛЕКСОВ В АРИДНОЙ ЗОНЕ

ОРОШАЕМОЕ ЗЕМЛЕДЕЛИЕ И ПЕРСПЕКТИВА ЕГО РАЗВИТИЯ

После майского (1966 г.) Пленума ЦК КПСС развитие мелиорации получило широкий размах. Если ранее орошаемое земледелие развивалось главным образом в Средней Азии, Закавказье, на юге Украины и РСФСР, то после Пленума его границы значительно расширились. Орошение стало одним из основных средств интенсификации сельскохозяйственного производства. Поволжье и Нечерноземье, Западная Сибирь и Кубань, Ставрополье и Украина, Калмыкия и Дагестан — вот далеко не полный перечень районов мелиоративных работ. Это сразу сказалось на росте продуктивности орошаемого земледелия, которая выросла за эти годы с 6 до 17,5 млрд. р. в год.

Предусматривается довести площадь орошаемых земель к 1990 г. до 23...24,5 млн. га. В этих условиях важнейшим становится проблема водообеспечения орошаемого земледелия.

Общие водные ресурсы в зоне орошения превышают 1 000 км³, или приблизительно 20% общих ресурсов страны. В связи с этим бесспорно возникновение дефицита воды не только в отдельных частях бассейнов, но и в целом по крупным регионам к началу будущего века. Перераспределение стока рек в больших масштабах как в зоне отъема, так и привода требует управления водными ресурсами и осуществления комплекса мероприятий по рациональному их использованию.

Средний объем валовой продукции земледелия на один гектар в стране немного превышает 200 р. Продуктивность же орошаемого гектара в четыре раза выше и составляет в среднем 820 р/га. В аридной зоне страны — республиках Средней Азии — этот показатель еще выше — 1 500...2 200 р/га. Высокая продуктивность оро-

шаемого земледелия в аридной зоне (более 30%) характерна для всего мира. Причинами такого интенсивного развития орошения в этих зонах являются высокая экономическая эффективность и большое социальное значение орошаемого земледелия.

Экономическая эффективность орошения в аридной зоне. Мелиорация как средство интенсификации сельского хозяйства повсеместно увеличивает его объемы и продуктивность с учетом региональных особенностей. Основной эффект от мелиорации в аридной зоне проявляется в виде резкого уменьшения зависимости хозяйств от климатических факторов и в улучшении почвенных условий.

При переходе на орошаемое земледелие меняется направленность сельскохозяйственного производства, возрастают удельные нагрузки на работников, изменяются не только потребность в механизмах, но и их типы (табл. 5). В аридной зоне при орошении увлажнение увеличивается до таких размеров, которые в природных условиях там никогда не встречаются. Это, а также высокий энергетический потенциал зоны нарушают естественные биогеохимические циклы, особенно в связи с ог-

5. Сравнительные показатели богарного и орошаемого земледелия в аридной зоне (бассейн Аральского моря) **на 1 га**

Земледелие	Продуктивность сельского хозяйства, р.	Затраты труда в растениеводстве на одного человека, сут	Необходимые основные фонды (кроме мелиорации), р
Богарное (зерновое)	30...150	8...15	160...250
Орошаемое (хлопковое)	80...120	60...125	1 000...1 200

Продолжение

Земледелие	Потребность механизмов (при машинном орошении), р.	Удельная мощность, кВт	Потребность в трудовых ресурсах, человек	Потребность в жилье, м²
Богарное (зерновое)	85...96	0,78	0,02...0,03	0,16...0,18
Орошаемое (хлопковое)	280...390	2,96	0,5...0,8	4,5...5,0

ромными темпами развития орошения, приводят к резким и порой трудноуправляемым последствиям как на орошаемых, так и на прилегающих землях.

Здесь характер работы мелиоративной системы определяется параметрами искусственного орошения и незначительно зависит от изменения осадков и температуры (в пределах 10...15%). Поэтому мелиоративные фонды отличаются большим постоянством использования и напряженным характером работы, они дают возможность получения высокой продуктивности наряду с другими производственными силами и фондами, которые здесь должны быть развиты и созданы.

Природа высокой эффективности орошаемого земледелия в аридной зоне заключается как в климатическом потенциале, так и в особенностях почвенных условий. Территории засушливого пояса отличаются большой суммой эффективных температур (2800...5400 °С в год), огромными величинами солнечной радиации (до 8,3 Дж/см² в 1 мин), значительным энергетическим потенциалом, большим (до 300 сут в году) числом безоблачных дней. Такие условия позволяют выращивать наиболее теплолюбивые культуры и снимать до трех урожаев в год.

Все почвы аридной зоны, особенно сероземы на лессах, лугово-болотные, древние орошаемые, при дополнительном увлажнении улучшают свои свойства и повышают продуктивность. Они богаты микроэлементами, кальцием, отличаются прекрасными водно-физическими свойствами. Кроме того, эти почвогрунты не снижают своего качества при обработке механизмами. Все это создает высокую разницу между их исходной и потенциальной продуктивностью, что образует эффективность орошения.

Значение мелиораций проявляется не только в повышении степени увлажненности (КБП), в некотором изменении термических режимов (Σt), но и в изменении фактической и потенциальной продуктивности почв. Формируя в определенной степени и направляя почвообразовательный процесс, мы тем самым изменяем и продуктивность почв, превращая малопродуктивные сероземы, пустынные, щебенистые и другие почвы в высокопродуктивных (рис. 4, см. стр. 21).

Отсюда появляется возможность подхода к допустимым затратам на мелиорацию земель. Лучше увеличе-

ние продуктивности земель оценивать как

$$\Delta П = П_к КБП_к K_{tк} - П_0 КБП_0 K_{t0}, \quad (1)$$

где $П_к$ — возможная потенциальная продуктивность данных почв при оптимальном увлажнении и температурном режиме при определенном мелиоративном управлении почвенными процессами; $П_0$ — то же, до мелиорации; $КБП_к$ — степень увлажненности, определяющая обеспеченность оптимальных условий увлажнения (при повышенной влажности КБП тоже может быть <1); K_t — коэффициент температурной обеспеченности природных условий при мелиорации $K_{tк}$ и без нее K_{t0}.

В основу определения бонитировки почв и влияния на него отдельных факторов (тип почв, завалуненность, закарстованность, закустаренность, рельеф, засоление, солонцеватость, содержание гумуса и почвенных элементов) может быть положена методика А. И. Серого. Потенциальная продуктивность почв может быть получена методом огибающих кривых для каждой почвенной разности для любого района с учетом времени, прошедшего от начала сельскохозяйственного освоения указанных земель, в течение которого продуктивность их постепенно нарастает. Произведение КБП на K_t названо Д. И. Шашко биоклиматическим потенциалом (БКП). Для оценки КБП в зависимости от средней увлажненности в период вегетации используют зависимость В. Д. Скалабана

$$КБП = 1 - \left(\frac{\theta - \theta_{вз}}{\theta_{ППВ} - \theta_{вз}} - 1 \right)^2, \quad (2)$$

где θ — средняя влажность почвенного слоя; $\theta_{вз}$ — влажность завядания; $\theta_{ППВ}$ — влажность, соответствующая ППВ.

Для оценки КБП до орошения (или осушения) необходимо проанализировать временные ряды увлажненности почв до орошения и получить $КБП_0$ необходимой обеспеченности (методика определения обеспеченности орошения приводится Д. Т. Зузиком, В. С. Мезенцевым).

Температурный коэффициент можно определить по формуле

$$K_t = \frac{\Sigma t° > 10\,°C}{1900}. \quad (3)$$

Если $K_t > 1$, то температурный коэффициент принимают равным 1.

Переход от максимальной продуктивности и влагообеспеченности земель, достигаемой при мелиорации, к реальной осуществляется введением коэффициента работоспособности оросительной системы Δ, характеризующего долговечность и надежность поддержания оптимальных условий в поле функционированием и эксплуатацией оросительной системы. В этом случае эффективность орошения определяют по формуле

$$E = (П_к КБП_к K_{tк} Δ - П_0 КБП_0 K_{t0})\, КЗИ - \\ - Δ И_{сх} - nФ - Э - (O_р/η_с)\, Ц_в, \qquad (4)$$

где КЗИ — коэффициент земельного использования; $Δ И_{сх}$ — увеличение издержек сельскохозяйственного производства при переходе от богары к орошению; $nФ$ — приведение основных водохозяйственных фондов (при новом строительстве вместо $Ф$ вводят $К_в$); $Э$ — эксплуатационные затраты; $O_р$ — оросительная норма нетто; $η_с$ — КПД системы; $Ц_в$ — цена воды с учетом формирования водного ресурса.

Такой подход позволяет: определить эффективность мелиораций непосредственно, а не через сельское хозяйство; установить для каждой зоны предел сельскохозяйственного использования (в виде потенциальной продуктивности), к которому должны стремиться и сельскохозяйственные органы как к мере ответственности за использование мелиорируемых земель; соизмерить допустимый размер капиталовложений и эксплуатационных затрат на мелиорацию в зависимости от разницы потенциальной и фактической продуктивности земель для различных зон и природных условий. Например, продуктивность орошаемых сероземов в Узбекской ССР оценивается в 119 баллов против 18 без орошения. Прирост продуктивности 101 балл, или около 1 500 р/га (14,5 р., средний балл, по А. И. Серому, 18,2 р. при 100-балльной системе). Если затраты на сельскохозяйственную продукцию вырастают на 1 га при переходе от богары к хлопчатнику на 850...870 р., то допустимые приведенные затраты на 1 га составляют при 100%-ной надежности 650...680 р/га. При стоимости водохозяйственных фондов 3 500...4 000 р/га расчетные эксплуатационные затраты составят 200...250 р/га вместе с платой за воду.

Потенциальная продуктивность серо-бурых почв в Средней Азии (исходная 5 баллов) может быть доведена до 90, прирост — 85 или 1 242 р/га. Новая продуктивность получается из начального бонитета в результате

орошения на 30 баллов ($К_{бо}=0{,}35$) и последующего улучшения продуктивности еще на 50 баллов под воздействием мелиорации.

Если затраты на сельскохозяйственное производство составляют 800 р/га, то такие почвы только на одном орошении (без повышения плодородия почв) осваивать нельзя ($\Delta П_1<800$ р/га). При общем орошении и повышении продуктивности земель на 1240 р. освоение может быть рентабельно при приведенных затратах $Е=\Delta П-\Delta И_{сх}=440$ р/га.

Эти затраты могут быть распределены на допустимые затраты на орошение и другие мелиорации пропорционально повышению их продуктивности. В данном случае: на орошение — $E_1=(440\cdot 510):1\,240=180$ р/га; на прочие мелиорации, включая промывки, — $E_2=(440\times\times 730):1\,240=260$ р/га.

Другой пример: потенциальная продуктивность богарных каштановых солонцеватых почв в Херсоне оценивается в 24 балла, с учетом солонцеватости орошаемых земель 43 балла, те же почвы с учетом ликвидации солонцов соответствуют 35 и 64 баллам. Таким образом, устранение солонцеватости дает повышение продуктивности земель на 150 р/га, а орошение — на 237 р/га, в то же время общие мероприятия дают 584 р. Если капиталовложения в систему в Херсоне составили 2 500 р/га, то на ежегодные эксплуатационные мероприятия, включая химмелиорацию, допустимый уровень затрат за минусом прироста сельскохозяйственной продукции (100...120 р/га) составит 160 р/га.

Для супесчаных подзолов Нечерноземья бонитет может изменяться с 20...26 до 35...42, или на 15...16 баллов (220...250 р.). При повышении издержек на 50...60 р/га допустимые приведенные затраты здесь составят 170...190 р/га, или 1 200...1 400 р. капитальных вложений при 30...50 р. эксплуатационных затрат. Естественно, что никакое дождевание в этих условиях не окупится.

Экономическая эффективность орошения определяется не потенциальной, а фактической продуктивностью, на которую влияют как вид культур, возделываемых при орошении, индексы цен, равномерность увлажнения (см. главу IV), так и обеспеченность трудовыми ресурсами, механизмами и, главное, навыками в орошаемом земледелии. Население Средней Азии и Закавказья имеет вековые традиции и опыт по возделыванию различ-

ных сельскохозяйственных культур при орошении, эти навыки позволяют получать все возможное от орошаемых земель и в благоприятных, и в тяжелых климатических условиях. Примером может быть стабильность роста урожайности хлопка-сырца в Узбекистане за 1970—1983 гг.: несмотря на то что здесь за это время имело место три крайне неблагоприятных года (1974, 1975, 1982), отклонение урожайности от тренда не превысило ±12%.

Эффективность орошаемого земледелия определяем по формуле

$$Э_t = \frac{V_t + m_t + \bar{m}_t}{K_t + n_a Ф}, \qquad (5)$$

где n_a — коэффициент самортизированных фондов; V_t — заработная плата; m_t — прибавочный продукт; $\bar{m}_t$ — налог с оборота; K_t — капиталовложения за время t; $Ф$ — основные фонды.

СОЦИАЛЬНОЕ ЗНАЧЕНИЕ РАЗВИТИЯ ОРОШЕНИЯ

Наряду с прямым экономическим эффектом развитие орошения способствует улучшению обеспечения населения продуктами питания и повышению занятости населения. Тем не менее стоимостное выражение социального эффекта орошения довольно сложно. Отдельные виды этого эффекта вообще не могут получить стоимостного выражения. К такому эффекту относятся улучшение общественного обслуживания, увеличение продуктов на душу населения как по количеству, так и по качеству, улучшение санитарного обслуживания и здравоохранения и т. д.

Автор предлагает социальный эффект учитывать в виде изменения национального дохода в результате выполнения водохозяйственных работ.

Национальный доход, как известно, делится на часть, идущую на накопление, и часть, идущую на потребление. Учитывая, что в расчетах народнохозяйственного эффекта (прямая прибыль плюс доля налога с оборота) уже учтена эффективность части накопления, в расчетах социального эффекта мы берем лишь его долю, идущую на потребление. Эта доля по Узбекистану (данные статистического управления на 1965—1975 гг.) в среднем составляет 68,5% (табл. 6).

6. Национальный доход по республике за последние пятилетки

Показатель	Годы		
	1965	1970	1975
Национальный доход, млн. р.	6 023	9 440	12 398
В том числе в сельском хозяйстве, млн. р.	2 062	3 202	4 050
В том числе потребление, млн. р.	4 160	6 412	8 512
Личное потребление, млн. р.	3 790,8	5 830	7 336
Зарплата со всеми выплатами и надбавками, млн. р.	3 486,3	5 034	7 336
Занято работников в сельскохозяйственном производстве, тыс.	1 333,0	1 441,6	1 623
Доля потребления, %	69,07	67,9	68,6
Национальный доход на одного работника в сельском хозяйстве, р.	1 547	2 211	2 495
Доля зарплаты, %:			
в личном потреблении	91,7	86,3	95,9
во всем потреблении	83,8	78,5	86,2

Социальный эффект определяется ростом (снижением) темпов производительности труда и выработки от достигнутого уровня. Последний может быть значительно ниже, чем возможный по техническому уровню развития сельскохозяйственного производства. Так, для хлопково-люцерновых севооборотов при высокой урожайности оптимальной в настоящее время является нагрузка 6 га на человека при потенциально возможной нагрузке 8 га. В то же время по Узбекистану нагрузка в среднем на одного человека колеблется от 1,45 до 3,93 га.

Тем не менее мы не ставим в данном случае задачи достижения указанных уровней, а считая, что установившиеся доход и выработка являются дифференцированной базой для каждой зоны, социальный эффект (положительный или отрицательный) будем определять в зависимости от их изменения.

Превалирующей частью потребления в целом, а также личного является заработная плата со всеми надбавками и установленными выплатами. В то же время на основе анализа показателей в среднем по всем областям республики между производительностью труда и общей заработной платой имеется зависимость, близкая к прямолинейной.

Если суммарный эффект в регионе определяют по Т. С. Хачатурову, то учет в составе чистой продукции

по нормативному критерию приведет к социальной доле эффекта комплекса (V должен учитываться по нормативному показателю затрат труда, а не по фактическим данным).

При учете эффекта только по m_i и $\overline{m}_i$ необходимо отдельно определять социальный эффект как изменение национального дохода в зависимости от увеличения занятости населения, которая будет определяться как функция увеличения производительности труда. Тогда

$$\Delta Э_с = (Н^{-}Д_t - Н^{-}Д_{t-1})(l_t + l_{t-1})\frac{д}{2};$$

$$\frac{Н^{-}Д_t}{Н^{-}Д_{t-1}} = \frac{П_{рt}}{П_{рt-1}}; \qquad \frac{Н^{-}Д_t}{Н^{-}Д_{t-1}} = \frac{V_t l_{t-1}}{V_{t-1} l_t}; \tag{6}$$

$$\Delta Э_с = Н^{-}Д_{t-1}\,\frac{V_t l_{t-1} - V_{t-1} l_t}{V_{t-1} l_t}\,д\,\frac{l_t + l_{(t-1)}}{2},$$

где $Н^{-}Д_t$, $НД_{t-1}$ — удельный национальный доход на единицу населения во время t и t—1; д — доля его, идущая на потребление; $П_р$ — производительность труда; V_t и V_{t-1} — объем производства; l_t и l_{t-1} — численность населения во время t и t—1.

По этой формуле необходимо рассчитывать как зону развития орошения, так и зону, из которой происходит миграция населения. Если отток населения на новые земли значителен, то это может существенно повлиять на повышение занятости населения и того региона, откуда идет миграция.

По предложенной методике определения социального эффекта автором проведен расчет и дан прогноз эффективности орошаемого земледелия в Средней Азии при различных реконструкции и развитии орошения. Здесь социальный эффект оказался соизмеримым с прямым экономическим эффектом (см. гл. VI).

Предлагаемая методика имеет большое значение при выборе земель под новые массивы, когда возможен выбор объектов. В густонаселенных районах засушливой зоны с высоким ростом населения без развития орошения или при малых объемах его возникает отрицательный социально-экономический эффект от уменьшения занятости сельского населения, который может быть ликвидирован только за счет развития орошения или выращивания высокодоходных орошаемых культур (табак, виноград, плодовые культуры и т. д.).

РАЗВИТИЕ ВОДОХОЗЯЙСТВЕННОГО КОМПЛЕКСА НА БАЗЕ ОРОШАЕМОГО ЗЕМЛЕДЕЛИЯ И ЕГО РОЛЬ В РОСТЕ ЭКОНОМИКИ АРИДНЫХ ЗОН

Высокая социально-экономическая эффективность развития ВХК на базе орошаемого земледелия хорошо прослеживается на примере Средней Азии. Важнейшими положительными факторами экономического развития здесь являются благоприятные климатические, почвенные и до последнего времени гидрологические условия развития сельскохозяйственного производства, значительные темпы роста трудовых ресурсов при низкой миграции сельского населения. К этому следует добавить высокие традиционные навыки сельского населения с его многовековым опытом выращивания сельскохозяйственных культур при орошении, а также имеющийся энергетический потенциал как водных источников, так и разведанных и частично эксплуатируемых запасов нефти, природного газа, бурого угля и т. д.

В Средней Азии созданы все условия для развития на базе орошаемого земледелия и всего ВХК перерабатывающей промышленности (хлопкоочистительной, легкой, текстильной, консервной, пищевой), машиностроения для сельского хозяйства, химической.

На примере республик Средней Азии и в основном Узбекистана можно проследить, как соответственно увеличению объема водозаборов увеличивалась продукция сельского хозяйства и всех совокупных отраслей ВХК.

Сравним рост водозаборов в республиках аридной зоны страны с темпами роста валовой продукции сельского хозяйства от площадей орошаемых земель. В 1940—1980 гг. соответственно темпам роста водозаборов увеличились площади орошаемых земель, но производительность орошаемого земледелия росла быстрее (табл. 7).

По отношению к орошаемым землям за 1960—1970 гг. произошел резкий скачок в общих водозаборах и удельном водопотреблении, во-первых, за счет значительного увеличения прочих водопотребителей, во-вторых, за счет увеличения расхода воды на 1 га орошаемой площади, вызванного как вводом менее благоприятных в природном отношении земель, требующих повы-

7. Темпы роста орошаемых земель по республикам Средней Азии и Казахстану к 1940 г., тыс. га (числитель), % (знаменатель)

Республика	Год						
	1940	1950	1960	1965	1970	1975	1980
Узбекская ССР	2 008	2 122	2 665	2 575	2 751	3 006	3 407
	100	106	133	128	137	150	169
Таджикская ССР	325	336	391	468	518	567	605
	100	104	120	144	160	174	186
Туркменская ССР	373	385	434	514	643	855	942
	100	103	118	138	172	229	252
Киргизская ССР	794	797	834	861	883	911	975
	100	101	105	108	111	115	131
Казахская ССР	994	1 194	1 482	1 368	1 451	1 630	1 930
	100	120	149	138	146	164	191
Итого	4 494	4 864	5 806	5 786	6 246	6 959	7 861
	100	108	129	129	139	155	175
По СССР	6 087	7 382	9 843	9 897	11 100	14 486	17 487
	100	121	162	162	182	238	287

Примечание. До 1960 г. данные по «Справочнику водного хозяйства», 1962; далее по справочнику «Народное хозяйство СССР», 1980.

шенных затрат воды на освоение, так и повсеместным строительством в Средней Азии коллекторно-дренажной сети, что способствовало и форсированному применению промывных поливов. При этом в отдельных зонах благодаря сложившемуся в них неоптимальному мелиоративному режиму расходы воды на промывку превысили водопотребление с целью удовлетворения потребностей растений в воде (низовья Амударьи, Вахшская долина и т. д.). В то же время рост водопотребления сопровождался таким подъемом продуктивности орошаемых земель, что валовой объем продукции сельского хозяйства в этой зоне в 1,5...2 раза превысил общий водозабор в аридной зоне. Все это в конечном счете способствовало повышению эффективности использования не только земельных, но и водных ресурсов в республиках Средней Азии и Казахстане. В 1975 г. произошло некоторое замедление темпов роста водопотребления в связи с наступлением серии маловодных лет, которое затем резко увеличивается не только из-за наступающей водности,

8. Увеличение водозаборов из источников по республикам Средней Азии и Казахстану, км³

Республика	Год				
	1940	1960	1970	1975	1980
Узбекская ССР	26,2	30,78	53,2	46,3	58,3
Таджикская ССР	7,3	10,08	14,4	14,1	15,5
Туркменская ССР	6,2	8,07	17,27	22,84	23,0
Киргизская ССР	4,8	5,21	9,59	10,17	10,7
Казахская ССР	7,8	9,75	37,85	33,21	39,2
Итого:					
км³	52,3	63,89	132,3	126,6	146,7
%	100,0	122,1	253,0	242,0	280,0

9. Темпы роста валовой продукции сельского хозяйства по республикам Средней Азии и Казахстану к 1940 г. (в ценах 1955 г.), **млн. р.** (числитель), % (знаменатель)

Республика	Год						
	1940	1950	1960	1965	1970	1975	1980
Узбекская ССР	1 145	1 551	2 238	2 754	3 472	4 062	5 277
	100	135	195	240	303	355	461
Таджикская ССР	260	271	438	623	771	928	1 107
	100	104	168	240	296	357	426
Туркменская ССР	209	296	398	499	691	845	1 005
	100	142	190	239	331	404	481
Киргизская ССР	316	353	576	742	911	1 094	1 194
	100	112	182	235	288	346	378
Казахская ССР	928	1 402	3 955	3 652	5 670	5 199	7 204
	100	151	426	394	611	560	776
Итого	2 858	3 873	7 605	8 270	11 515	12 128	15 787
	100	136	266	289	403	424	552
По СССР	39 737	39 455	63 128	71 019	87 082	90 675	98 070
	100	99	150	179	219	228	247

Примечание. До 1970 г. данные по справочнику «Народное хозяйство СССР за 1922—1972 гг.», 1972, далее по справочнику «Народное хозяйство СССР», 1980.

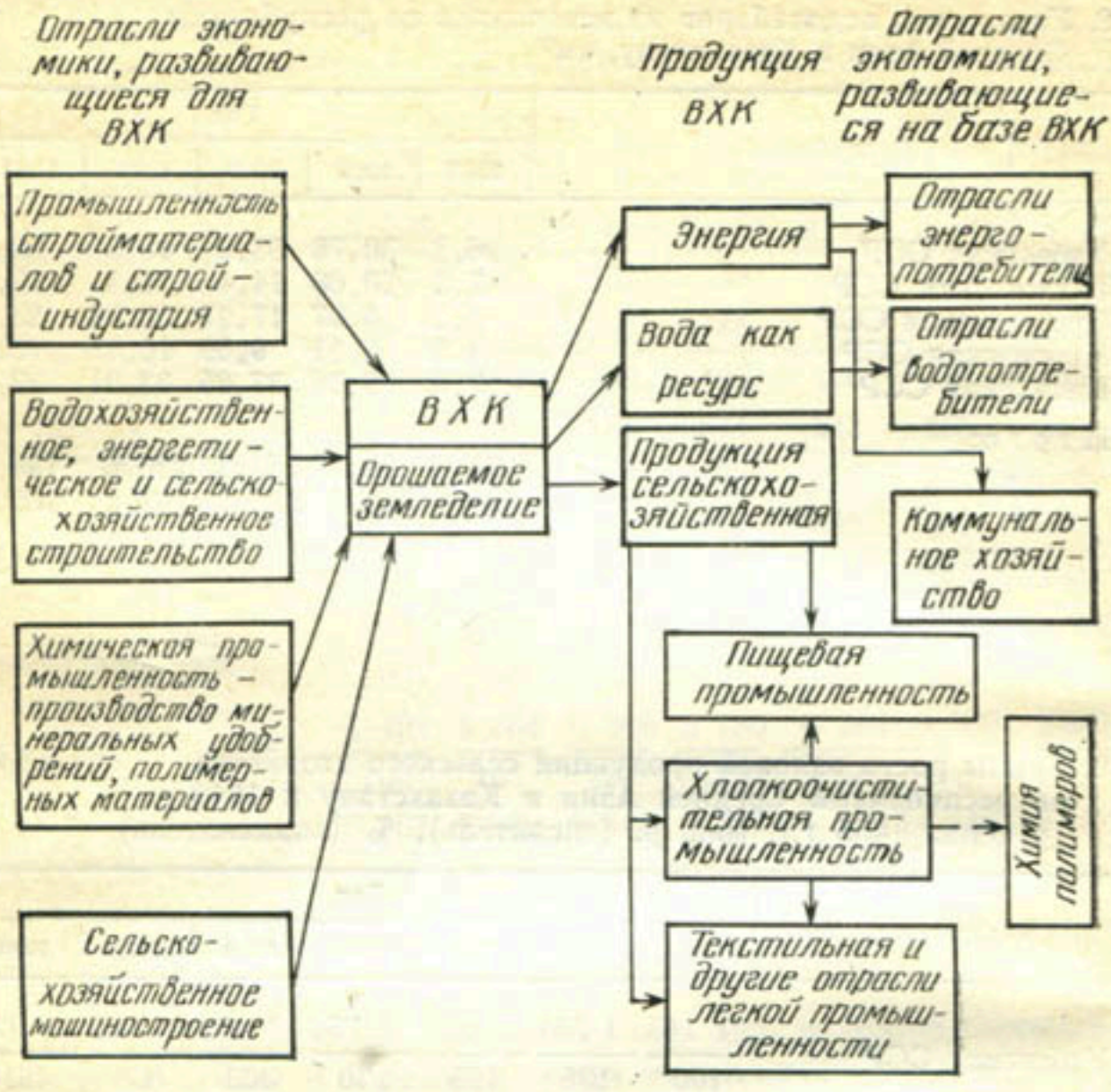


Рис. 5. Схема связей влияния ВХК на экономику аридной зоны.

но и вследствие сдвигов в многолетнем регулировании и завершении, в основном, формирования ВХК в Средней Азии на техническом уровне.

Однако связи ВХК не ограничиваются только развитием орошения (табл. 8) и увеличением продукции орошаемого земледелия и всего сельского хозяйства. Рассмотрим динамику экономики на отраслях, совокупных и сопряженных с развитием ВХК, на примере Узбекистана, где орошаемое земледелие служило важнейшим фактором роста значительной части экономики всей республики (табл. 9).

При этом связи водохозяйственного комплекса (рис. 5) практически распространялись на все отрасли экономики, за исключением горнодобывающей, лесной и топливной промышленности, а также пастбищного жи-

10. Распределение водопотребителей между отраслями народного хозяйства Узбекской ССР, км³ (числитель), % (знаменатель)

Потребитель	1940 г.	1960 г.	1970 г.	1975 г.	1980 г.
Промышленность	1,20	2,16	4,54	4,94	3,51
	4,6	7,0	8,5	10,7	6,1
Коммунальное хозяйство	0,12	0,15	0,27	0,77	1,72
	0,4	0,4	0,5	1,6	3,0
Сельское хозяйство	24,6	28,17	47,63	39,40	51,36
	94	91,4	89,6	85,2	88,0
Рыбное хозяйство	0,25	0,30	0,59	0,85	1,03
	1,0	0,9	1,1	1,8	1,7
Потери в республиканских водохранилищах	—	0,10	0,19	0,35	0,7
		0,3	0,3	0,7	1,2
Итого	26,2	30,78	53,22	46,31	58,32
В % к 1940 г.					
Промышленность	100	180	378	411	393
Коммунальное хозяйство	100	125	225	642	1 433
Сельское хозяйство	100	114	193	160	209
Рыбное хозяйство	100	120	239	340	412

вотноводства. Одни отрасли выступают как водопотребители, другие как водопользователи, третьи развиваются для орошаемого земледелия, и, наконец, значительная часть промышленности перерабатывает продукцию орошаемого земледелия.

Общая удельная доля отраслей, базирующихся и связанных с ВХК, составляет в сельском хозяйстве 95... 96,7%, в промышленности — 59,9...86%, в строительстве — 36,1...48,2%, а в целом — около 50% всего объема производства в республике. При этом доля в сельском хозяйстве стабильно держится и, видимо, и в будущем сохранится на уровне 95%, в строительстве — 40...44%, а в промышленности в связи с интенсивным ростом химической, нефтедобывающей, горнорудной промышленности снизится до 40%. При этом темпы роста промышленности и сельского хозяйства в два раза превышают водопотребление на эти цели, а коммунального хозяйства соответствуют увеличению водопотребления, так как

11. Рост экономики Узбекской ССР в сравнении с отраслями, связанными с ВХК (в сопоставимых ценах 1955 г.)

Отрасль	Год				
	1940	1960	1970	1975	1980
Промышленность всего, млрд. р.	3,60	13,80	30,60	46,21	58,75
В том числе, связанная с ВХК, млрд. р.:					
энергетика	0,03	0,41	1,04	1,88	1,98
химическая промышленность*	0,02	0,21	0,70	1,32	1,74
сельскохозяйственное машиностроение*	0,01	0,18	0,54	0,95	1,04
промышленность стройматериалов*	0,05	0,11	0,28	0,44	0,52
легкая*	1,97	4,61	9,36	12,26	14,13
пищевая*	0,74	2,02	4,28	6,46	8,38
Итого связанная с ВХК:					
млрд. р.	2,80	7,93	16,20	23,31	27,79
%	77,80	57,60	52,90	50,40	47,30
Темп роста к 1940 г., %	—	283	578	832	992
Сельское хозяйство всего, млрд. р.	1 145	2 238	3 472	4 062	5 277
В том числе связанное с ВХК:					
млрд. р.	1 090	2 166	3 354	3 910	5 026
%	95,0	96,7	96,6	96,2	95,2
Темп роста к 1940 г., %	100	198	307	358	460
Строительство всего, млрд. р.	202	934	3 085	4 269	5 461
В том числе связанное с ВХК:					
млрд. р.	73	432	1 260	2 060	2 435
%	36,1	46,2	4 038	4 892	44,5
Темп роста к 1940 г., %	100	591	1 726	2 822	3 336
Жилая площадь, млн. м²	15	53	78	103	130
%	100	353	520	686	867

* Взят объем части отрасли, связанный с ВХК. Данные по сборникам «Народное хозяйство СССР за 1922—1972 гг.», 1972, «Народное хозяйство 1980, «Народное хозяйство УзССР за 1975—1980 гг.».

темпы роста жилья сопровождаются повышением удельного водопотребления путем строительства централизованных систем водоснабжения не только в городах, но и в большинстве сел республики (табл. 10, 11).

Из приведенных данных видно влияние развития водохозяйственных комплексов на показатели всей экономики обслуживаемых ими районов и территорий на экономику республики. Следует отметить и фактическую эффективность развития ВХК как в экологическом, так и в социальном отношении. Покажем ее в соответствии

12. Расчет эффективности функционирования отраслей, связанных с ВХК в Узбекистане

Показатель	Год		
	1970	1975	1980
Основные фонды, приходящиеся на отрасли, входящие и связанные с ВХК, млн. р.	7 370,9	1 2747,9	1 8547,8
В том числе:			
промышленности, млн. р.	2 240,1	3 638,9	4 605,1
строительства, млн. р.	402,8	787,0	1 078,7
сельского хозяйства, млн. р.	4 728	8 322	12 864
Прибыли за год всего орошаемого земледелия, млн. р.	195,7	81,0	90,2
Гидроэнергетика, млн. р.	33	42	40
Доля прибылей отраслей, связанных с ВХК, млн. р.	95,4	207,7	134,9
В том числе:			
легкой промышленности, млн. р.	57,6	160,0	97,4
пищевой промышленности, млн. р.	29,5	36,2	36,0
прочих отраслей, млн. р.	892	1150	752
Прибыль, всего за расчетный период, млн. р.		1 419,5	1 284,5
Доля налога с оборота, млн. р.		9 983,6	11 977,1
Окупаемые капиталовложения за период, млн. р.		6 991,2	7 540,0
Заработная плата в отраслях ВХК за период (~~на трудоспособного человека~~), млн. р.		108,5	106,0
Национальный доход на человека в доле потребления к началу периода, р.	2 427,8	2 763	3 141,5
Численность трудоспособного населения	2 641	3 343	4 168,7
В том числе в отраслях ВХК	1 479	1 839	2 126,7
Прирост социального эффекта, млн. р.	1 432	1 879	
Эффективность, подсчитанная по формуле (7)	0,181	0,134	
То же, по формуле (7, *а*)	0,202	0,163	

с ранее высказанными методическими положениями на примере Узбекистана (табл. 12).

За расчетную принята формула Т. С. Хачатурова

$$\frac{1}{T_{ок}} = \frac{m + \bar{m} + V}{\Phi + K}, \qquad (7)$$

или, заменив V на социальный эффект в виде прироста

доли потребления суммарного национального дохода на душу населения,

$$\frac{1}{T_{ок}} = \frac{m + \bar{m} + \Delta Э_с}{Ф + К}, \qquad (7а)$$

где $\Delta Э_с$ — социальный эффект, вычисленный по формуле (6); $Ф$ — основные окупаемые фонды; К — капиталовложения за период расчета; $T_{ок}$ — срок окупаемости, г.

В основные фонды включены окупаемые производственные фонды ВХК, включая орошаемое земледелие, водное хозяйство и его строительство, гидроэнергетику. Сопряженные основные фонды, равно как и прибыли отраслей, связанных с ВХК, учтены в доле их, определенной по матричному коэффициенту межотраслевых связей: для легкой промышленности $K_i = 0{,}41$; для пищевой $K_i = 0{,}32$; для прочих отраслей (водопотребляющих)

$$K_i = \frac{0{,}4 \text{ млрд. р.}}{2{,}5 \text{ млрд. р.}} = 0{,}16.$$

Как видно, с учетом изменения фонда потребления в национальном доходе на душу населения общий социально-экономический эффект развития ВХК и сопряженных с ним отраслей имеет окупаемость за IX пятилетку 5 лет, за X — 6 лет, что дает высокую эффективность капиталовложений. В то же время отмечается, что снижение темпов роста орошаемых земель по сравнению с увеличением населения, включая трудоспособное, наряду с другими причинами снизило увеличение национального дохода и отсюда эффективность отраслей, связанных с ВХК в десятой пятилетке.

Так, видимо, будет продолжаться и дальше, если не будут осуществлены меры по перераспределению водных ресурсов и рационализации водопользования. Сопостав-

13. Динамика удельных водных ресурсов на душу населения, тыс. м³

Наименование	1980 г.	1990 г.
СССР	16,70	15,30
Узбекская ССР:		
по собственным водным ресурсам	1,21	0,87
с учетом располагаемых из транзита	3,79	2,73

ление показателей удельных водных ресурсов в мире, стране и Узбекистане убеждает в остроте сложившегося здесь положения (табл. 13).

ФОРМИРОВАНИЕ ВХК БАССЕЙНА РЕКИ СЫРДАРЬИ

Бассейн реки Сырдарьи занимает 45 млн. га земель, из которых пригодно для орошения и сельскохозяйственного использования около 13 млн. га. Бассейн является одним из самых развитых регионов юга страны. Здесь в настоящее время проживает около 15 млн. чел. и сосредоточено более половины валового производства всех видов продукции Средней Азии.

В географическом отношении бассейн четко подразделяется на три части:

зона природного формирования стока — верхнее течение основных притоков Сырдарьи: Нарына, Карадарьи, Чирчика и др., где гидрограф его в основном мало подвержен воздействию человека по объему формирования и определяется ледниковым, снеговым и подземным питанием. Эта зона расположена в почти неорошаемой части бассейна в верхних долинах хребтов Тянь-Шаня, а также Туркестанского и Алтайского хребтов на отметках более 1500 м над уровнем моря;

зона антропогенного формирования стока — среднее течение реки Сырдарьи и периферия притоков — расположенная в межгорных аллювиальных долинах (Ферганская, Чирчикская и др.), где водное питание реки обусловлено в большей части формированием естественных и антропогенных возвратных вод с орошаемой территории и подвержено большому влиянию как развития орошения, так и других видов деятельности человека. Вторая зона завершается створом Чардары на реке;

зона рассеивания стока — нижнее течение Сырдарьи, где река в основном не принимает никаких естественных притоков, имеет русловую отточность и принимает лишь небольшую часть коллекторно-дренажных вод.

На территории бассейна расположено семь областей Узбекской ССР, две области Киргизской ССР, одна область Таджикской ССР и две области Казахской ССР. Весь бассейн — зона древнего орошения.

Благодаря интенсивному водохозяйственному строительству в стволе реки Сырдарьи и на ее притоках в последние годы в результате создания таких гидроуз-

14. Характеристика основных водохранилищ и гидроузлов бассейна реки Сырдарьи

Название водохранилища или гидроузла	Название реки	Год ввода в эксплуатацию	Расчетный расход, м³/с	Вместимость водохранилища, км³		Мощность ГЭС, кВт·ч
				полная	полезная	
		Водохранилища				
Кайраккумское	Сырдарья	1956	5 570	4,03	2,550	126
Чардаринское	Сырдарья	1965	4 400	5,70	4,700	100
Токтогульское	Нарын	1974	3 300	19,50	14,000	1 200
Андижанское	Карадарья	1978	1 700	1,75	1,600	100
Уртатокайское	Кассансай	1954	72	0,168	0,165	—
Каркиданское	Кувасай (Исфайрамсай и Карадарья)	1963	62	0,218	0,215	—
Бугуньское	Бугунь, Арысь	1970	54	0,37	0,368	—
Джизакское	Санзар	1967	27	0,09	0,088	—
Ахангаранское	Ахангаран	1974	610	0,183	0,170	—
Туябугузское	Ахангаран	1960	760	0,26	0,220	—
Чарвакское	Чирчик	1970	2 400	2,00	1,600	600
		Гидроузлы				
Учкурганский	Нарын	1959	3 870	—	—	180
Тешикташский	Карадарья	—	1 450	—	—	—
Куйганъярский	Карадарья	1940	843	—	—	—
Фархадский	Сырдарья	1955	4 200	—	—	—
Газалкентский	Чирчик	1939	2 140	—	—	—
Верхнечирчикский	Чирчик	1956	1 350	—	—	—

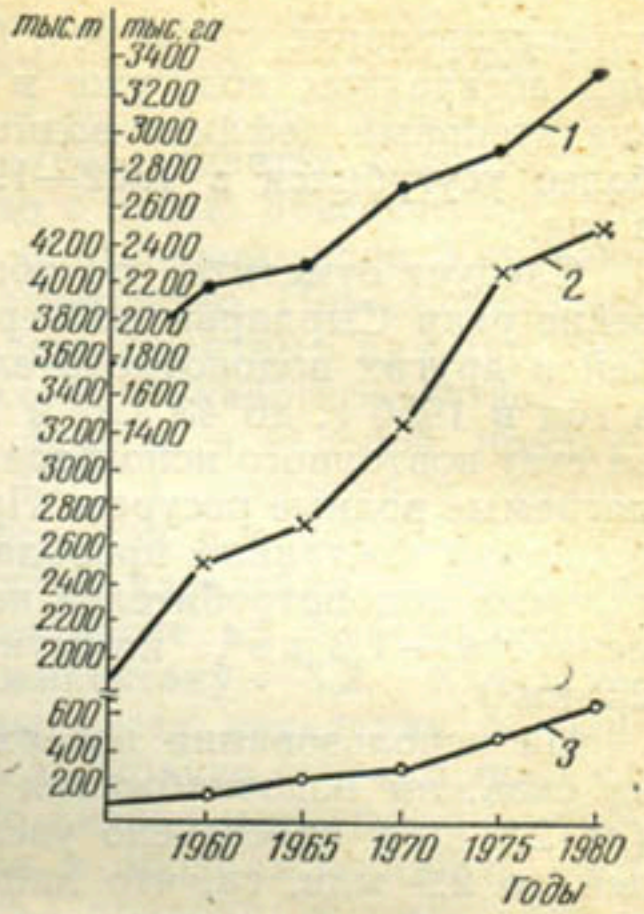


Рис. 6. Сравнительные показатели развития производства основных видов сельскохозяйственной продукции и орошаемых земель в бассейне р. Сырдарьи:
1 — орошаемые земли; *2* — производство хлопка; *3* — производство риса.

лов, как Токтогульский, Андижанский, Чарвакский, осуществлено полное регулирование (сезонное и многолетнее) реки со степенью зарегулированности 0,96.

Характеристика основных сооружений бассейна приведена в таблице 14.

Кроме водохранилищ и самотечных водозаборов, в бассейне имеется большое число машинных водозаборов из реки и ее притоков, выполняющих роль как самостоятельных источников питания новых массивов, так и повышения водообеспечения староорошаемых земель.

В результате интенсивного строительства коллекторно-дренажной сети сброс увеличился с 1955 до 1970 г. более чем в 2 раза — с 4 до 10,5 км³ в год.

Общая протяженность коллекторно-дренажной сети в бассейне достигла 83 тыс. км, однако характер ее совершенно различный. Если оросительные системы Голодной, Джизакской, Аштской и Самгарской степей, Дальверзина оснащены современной коллекторно-дренажной сетью из закрытых горизонтальных и вертикальных дрен, обеспечивающих оптимальный мелиоративный режим на площади более 700 тыс. га, то все низовья реки, бóльшая часть Ферганской долины имеют открытую коллекторно-дренажную сеть с малой надежностью, высокими эксплуатационными затратами и значительными дренажными расходами на гектар при неоптимальном мелиоративном режиме.

С развитием орошения в бассейне, ростом производства основных сельскохозяйственных культур (рис. 6) изменился общий водозабор по бассейну. Несмотря на

зарегулирование стока рек, большую долю использования возвратных вод, уже в 1974—1975 гг. ощущался значительный дефицит водных ресурсов, который еще более усугубился в 1982—1983 гг., достигнув 5...6 км³ в год.

Следует отметить, что общее водопотребление в бассейне реки Сырдарьи по мере роста орошаемых площадей и других водопотребителей увеличивалось с 22 км³ в год в 1950 г. до 43 км³ в 1980 г., превышая на 6 км³ за счет повторного использования возвратных вод располагаемые водные ресурсы. При этом водопотребление на орошение составило преобладающую долю, а доля остальных водопотребителей не превысила 10% (промышленность — 1,3 км³, коммунальное водопотребление — 2,2 км³).

На использовании поверхностных и подземных вод из скважин водоснабжения и вертикального дренажа (до 2,5 км³) обеспечено увеличение орошаемых площадей до 2,9 млн. га, что дало возможность значительно повысить рост сельскохозяйственного производства, строительства и значительной части промышленности в бассейне.

Для сельского хозяйства бассейна характерно преобладание (до 80%) орошаемого земледелия при двух ве-

15. Рост продукции сельского хозяйства в бассейне реки Сырдарьи

Показатель	Год		
	1975	1980	1985
Валовое производство сельскохозяйственной продукции, млн. р. в год	3 333	4 709	6 232
Растениеводство, млн. р. в год	2 192,16	3 160,2	4 127,9
Животноводство, млн. р. в год	1 082,9	1 473,7	2 026,2
Валовое производство сельскохозяйственной продукции на орошаемых землях, млн. р. в год	2 641,0	3 830,2	5 261,4
То же, растениеводство, млн. р. в год	2 154,4	3 068,7	4 037,5
То же, животноводство, млн. р. в год	428,8	686,5	1 146,0
Хлопок-сырец, тыс. т	3 246	3 670	4 241
Кенаф, тыс. т	241	320	380
Зерновые без риса, тыс. т	909	1 868	2 206
Рис, тыс. т	288	459	622
Картофель, овощи, бахчевые, тыс. т	1 288	1 972	3 339
Фрукты и виноград, тыс. т	517	920	1 953
Мясо (убойная масса), тыс. т	261	301	409
Молоко, тыс. т	1 537	1 333	2 213

дущих направлениях: в среднем и верхнем течении в основном хлопково-люцерновое, в низовьях — рисово-животноводческое (табл. 15). Кроме того, в последнее время в пригородных зонах и особенно в подгорных высоких долинах получило усиленное развитие садоводство, виноградарство и овцеводство с целью обеспечения продовольствием населения. В предгорной зоне Киргизии широко распространено табаководство. Повсеместно на орошаемых землях на базе севооборотных культур развивается птицеводство и молочное животноводство.

Темпы роста орошаемых земель и валовой продукции сельского хозяйства до 1975 г. опережали темпы роста населения как сельского, так и в целом по зоне (в среднем за 10 лет приросты населения в бассейне составили 3,4% в год, в том числе по Узбекистану — 3,1%, Киргизии — 5,1, Таджикистану — 3,2, Казахстану — 4,3%). С 1975 г. темпы роста населения обгоняют рост орошаемых земель и несколько отстают пока от роста валовой продукции. Но низкая миграционная способность сельского населения и продолжающийся рост насселения в целом (2,6...2,7%) приводят к тому, что в бассейне создается довольно сложная социально-экономическая обстановка, характеризующаяся высокой плотностью населения и ограниченными возможностями дальнейшего развития орошаемого земледелия. Плотность населения по бассейну на 1 км^2 составляет 25,4 чел., а в южных зонах еще выше. Достигнут значительный отток населения в промышленность, строительство и обслуживающие отрасли, усиленно развивающиеся в бассейне.

Зависящие от сельского хозяйства отрасли растут в среднем в 1,5 раза быстрее, чем валовое производство орошаемого земледелия.

Наряду с развитием орошаемого земледелия на базе ВХК интенсивно растет энергетика.

Таким образом, благодаря огромным водохозяйственным работам создаются условия для интенсивного развития как сельского хозяйства, так и значительной части промышленного производства. Однако в последние 5...8 лет в связи с нарастанием дефицита водных ресурсов (табл. 16) появились затруднения в дальнейшем развитии различных отраслей.

Несмотря на явные дефициты в последние годы и значительные экономические потери в народнохозяйст-

16. Сопоставление водных ресурсов и водопотребления по реке Сырдарье за 1956—1983 гг.

Годы	Естественные воды (без Артура), км³	Возвратные воды (без Арнасая), км³	Подземные воды, км³	Сработка водохранилищем, км³	Итого ресурсы, км³	Потери стока, км³	Ресурсы — потери — располагаемые ресурсы, км³	Водопотребление (без Артура), км³	Сброс в Арал, км³
1956—1957	35,2	3,6	5,8	0,8	43,8	3,9	39,9	25,8	+14,1
1957—1958	25,4	3,4	5,9	0,6	34,1	2,4	31,7	24,8	+6,9
1958—1959	42,5	5,4	5,5	1,0	52,4	11,1	41,3	28,0	+13,3
1959—1960	43,4	6,1	4,8	0,4	53,9	8,9	45,0	29,4	+15,6
1960—1961	43,4	6,3	4,1	—0,5	54,3	7,6	46,7	30,0	+16,7
1961—1962	26,2	4,8	5,9	0,7	36,2	0,3	35,9	29,0	+6,9
1962—1963	26,6	6,1	5,9	0,2	38,4	2,5	35,9	30,6	+5,3
1963—1964	33,6	8,6	4,9	—0,6	47,7	6,4	41,3	32,9	+8,4
1964—1965	38,0	8,7	4,3	0,8	50,2	6,3	43,9	33,6	+10,3
1965—1966	25,8	7,0	5,1	3,2	34,7	1,8	32,9	31,0	+1,9
1966—1967	41,0	9,3	4,9	0,7	54,5	5,5	49,0	37,7	+11,3
1967—1968	31,8	9,0	5,9	1,9	44,8	2,2	42,6	36,4	+6,2
1968—1969	36,2	9,0	5,5	—0,8	51,5	8,2	43,3	35,0	+8,3
1969—1970	57,5	10,2	5,6	—0,1	73,4	6,2	67,2	36,6	+30,6
1970—1971	38,6	10,5	6,9	1,4	54,6	4,1	50,5	41,0	+9,5
1971—1972	34,6	10,3	6,7	0,2	51,4	2,1	49,3	42,5	+6,8
1972—1973	33,4	10,1	8,2	—0,2	51,9	3,1	48,8	43,0	+5,8
1973—1974	38,3	10,5	6,0	0,8	54,0	1,1	52,9	45,0	+7,9
1974—1975	21,7	7,5	6,2	—3,0	38,4	1,9	36,5	35,6	+0,9
1975—1976	24,4	7,3	9,0	—0,5	41,2	2,1	39,1	34,8	+4,3
1976—1977	28,0	8,9	6,9	1,8	42,0	1,4	40,6	38,9	+1,7
1977—1978	29,6	9,6	6,5	3,4	42,3	1,5	40,8	38,3	+2,5
1978—1979	31,8	10,2	6,7	3,0	45,7	1,8	43,9	43,3	+0,6
1979—1980	38,5	11,5	5,5	6,0	49,5	2,5	47,0	46,5	+0,5
1980—1981	33,7	10,0	7,1	0,2	51,6	3,8	47,8	46	+1,8
1981—1982	33,0	9,2	7,0	0,4	48,8	3,6	45,2	45	+0,2
1982—1983	25,7	7,6	6,5	—7,2	47,0	1,8	45,2	45	+0,2

венном масштабе, управление ВХК бассейна находится на недостаточном уровне. Многочисленные водохозяйственные сооружения только на главном стволе реки (более 120 сооружений) находятся на балансе 11 министерств, четырех ведомств союзных республик и трех главков союзного подчинения.

Кроме того, непосредственно на сток реки с территории бассейна воздействуют еще десятки других ведомств и министерств тех же республик. В результате в многоводные годы, когда отсутствует единое руководство бассейном, осуществляется нерациональный слабо контролируемый режим работы. В маловодные годы оперативное руководство режимом ствола и главных притоков

осуществляет специально созданная комиссия (или группа) Минводхоза СССР.

Отсутствие постоянного единого централизованного управления бассейном сказывается и на недостаточной увязке бассейновых возможностей с территориальным водопотреблением и его совершенствованием. Этот вопрос по сути является вопросом увязки отраслевого управления ВХК с территориальным.

УВЯЗКА РАЗВИТИЯ ВХК С РЕГИОНАЛЬНЫМ РАЗВИТИЕМ

Оптимальное сочетание отраслевых и территориальных планов экономического развития страны должно быть положено в основу развития ВХК.

Исходить нужно из централизованного распределения общегосударственных народнохозяйственных ресурсов между региональными комплексами по принятому критерию оптимальности.

В перспективе разделение труда между региональными и территориальными комплексами будет углубляться, и тем самым будет увеличиваться возможность альтернатив развития регионов и комплексов по отраслевому признаку в связи с использованием межрайонных пропорций и потреблением природных ресурсов.

Возникает возможность народнохозяйственной оптимизации регионального и отраслевого развития на основе минимизации общегосударственных затрат по суммарному последовательному рассмотрению в масштабах каждого региона технологической цепочки: природные ресурсы (на месте или их транспорт) — развитие производства (или улучшение использования существующих мощностей), транспорт продукции или природного ресурса — удовлетворение потребности населения в продуктах питания, трудовой занятости. При этом, как видно, по народному хозяйству в целом и по каждому региону и отрасли в частности, возникает огромное множество решений и альтернатив, определенных не только возможностью выбора места потребления природных ресурсов, транспорта, продукции и ресурсов, но и миграцией населения. Последнее определяется социальными факторами, свойственными для характеристик населения той или иной территории в сочетании с затратами на переселение и закрепление.

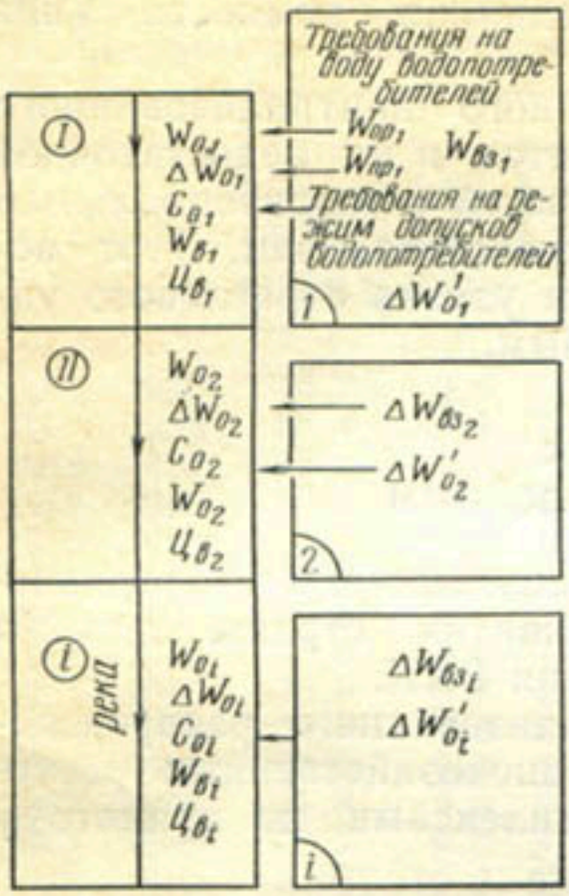


Рис. 7. Сочетание водных ресурсов по бассейновым зонам и требований на воду территориальных комплексов.

При этом необходимо учитывать положительный социальный фактор — опыт и профессиональные знания в той или иной отрасли. Это имеет огромное экономическое значение, так как квалификация и навык определяют не только степень использования потенциальных возможностей ресурса (например, орошаемых почв), но и обеспечивают максимальное снижение затрат труда на единицу продукции, а следовательно, и снижение потребности в рабочей силе (Аганбегян, Гранберг, 1968).

В то же время рациональное использование природных и экономических ресурсов, которыми располагает тот или иной регион или территориальный комплекс, исходя из принципа ограничивающих факторов может быть достигнуто лишь при оптимальном согласовании между собой по методу межпроизводственных балансов мощностей всех увязанных звеньев экономики региона (или комплекса), включая добычу (получение), производство, переработку, транспорт, использование.

Одновременно использование наличных природных ресурсов на месте их формирования или вдали от него определяется, с одной стороны, потребностью в них общества, в территориальной привязке и возможностью их покрытия другими факторами использования, а с другой — различиями в региональной эффективности и региональных затратах.

Водохозяйственный комплекс определенного речного бассейна рассматривают, исходя из отраслевых характеристик водных ресурсов, их объема, качества, режима, площади бассейна. При этом по длине бассейна (рис. 7) изменяется неиспользуемый остаток стока ΔW_{o_i}, мине-

рализация воды C_{o_i}, объем $W_{в_i}$ и качество $C_{в_i}$ возвратных вод. Каждый территориальный комплекс предъявляет свои требования к бассейну по режиму попусков для водопользователей и по объему водозаборов для водопотребителей.

Изменение минерализации воды по длине бассейна и дифференциация затрат на формирование стока и эксплуатацию ВХК создают дифференцированную стоимость воды как ресурса по бассейну. С другой стороны, изменение минерализации воды по длине реки влияет на продуктивность орошения на подкомандных землях.

Автор разработал методику установления бассейновых цен на воду и их дифференциацию по длине реки в зависимости от минерализации воды (Духовный, 1980, 1983), в которой определил замыкающие капиталовложения как затраты на формирование стока, включающие стоимость регулирования водного ресурса, транспортирования, подачи и содержания бассейновых органов, а оценку воды — как сумму этих затрат с эксплуатационными, приведенными к данному году:

$$\overline{Ц}_в = \frac{K_ф}{\Delta W_р}(a + n_э + n) + \frac{a\Phi_{мх} + E_{мх}}{W_{вз}}, \qquad (8)$$

где $\Phi_{мх}$ — межхозяйственные фонды эксплуатационных водных организаций; $E_{мх}$ — затраты на эксплуатацию; $K_ф$ — капиталовложения в формирование водного ресурса на данном этапе; $\Delta W_р$ — увеличение располагаемых водных ресурсов в этот период: a и $n_э$ — амортизационные отчисления и доля эксплуатационных затрат по формированию стока; $W_{вз}$ — общий объем водозабора.

Расчет поэтапных оценок воды для бассейна реки Сырдарьи с учетом ущерба низовьям (0,0047 р/м³) приведен в таблице 17. Цену воды любой концентрации от C_o до $C_{пдк}$ можно определить по формуле

$$\overline{Ц}_с = \overline{Ц}_в \frac{W_р}{W_в} = \overline{Ц}_в \frac{C_в - C_{пдк}}{C_{пдк} - \langle C \rangle}, \qquad (9)$$

где $\langle C \rangle$ — средняя минерализация воды в бассейне без возврата, изменяющаяся от C_o (исходной) до $C_{пдк}$ (предельно допустимой) концентрации; $C_в$ — минерализация возврата: при $C_в = C_{пдк}$ $\overline{Ц}_с = 0$; при $C_в = \langle C \rangle$ $\overline{Ц}_с = \overline{Ц}_в$.

Изменение стоимости воды для бассейна Сырдарьи при $C_{пдк} = 1{,}5$ г/л, $\langle C \rangle = 0{,}7$ г/л показано на рисунке 8.

При минерализации больше $C_{пдк}$ ущерб может быть оценен по средним потерям продуктивности земли для

17. Стоимость водных ресурсов для бассейна реки Сырдарьи

Годы	Стоимость формирования, р/м³	Эксплуатационные затраты, включая амортизацию, р/м³	Приведенные затраты на формирование, р/м³	Затраты эксплуатационных межхозяйственных органов, р/м³	Итого, р/м³
1955—1965	0,08	0,011	0,0206	0,005	0,0302
1966—1975	0,12	0,0166	0,0310	0,011	0,0467
1976—1980	0,16	0,0222	0,0415	0,0249	0,0707
1981—1990	0,27	0,0374	0,0698	0,0421	0,1166

ведущей культуры по мере увеличения минерализации воды в бассейне. Используя имеющиеся данные по хлопчатнику, получим отрицательный эффект в виде

$$Ц_{в;с} = \frac{П}{О_р}\lambda(с), \qquad (9а)$$

где $П$ — продуктивность орошения, р/га в год; $О_р$ — средняя оросительная норма, м³/га в год; $\lambda(с)$ — снижение урожайности в долях единицы в зависимости от минерализации оросительной воды при длительном орошении (рис. 8, *б*).

В результате получаем нижнюю часть кривой (рис. 8, *а*).

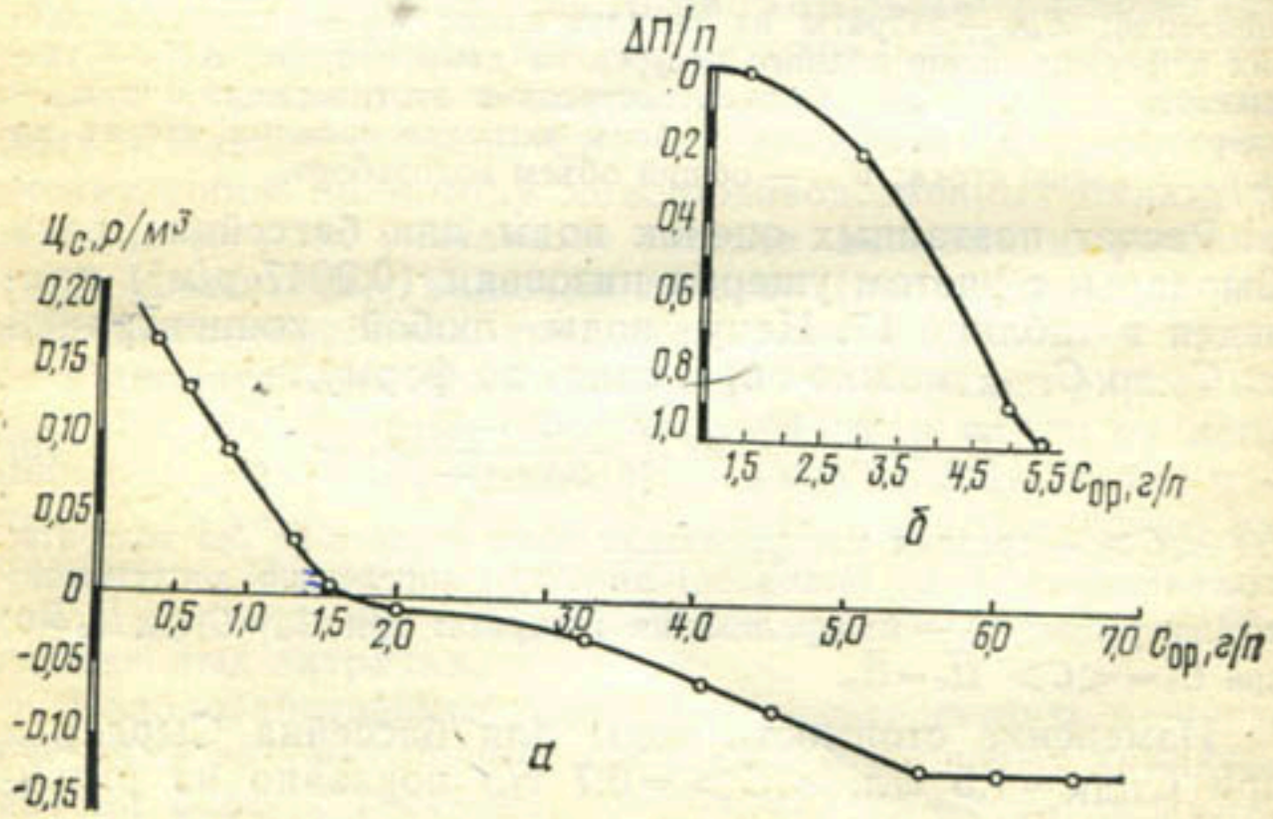


Рис. 8. Изменение цены воды в зависимости от ее минерализации (*а*) и зависимость потери продуктивности земель при выращивании хлопчатника от минерализации оросительной воды (*б*).

На основе приведенной методики становится возможным дифференцировать цену на воду как на ресурс по стволу реки и на любом расстоянии от него в случае, если сток будет перебрасываться на любое расстояние, так как в этом случае вторая часть формулы (8) по сути показывает затраты на переброску стока. С увеличением расстояния от ствола и высоты подъема эти затраты будут расти.

С другой стороны, в нижней ступени ВХК будут складываться затраты и эффекты как основные факторы эффективности. Для их оценки удобно пользоваться методом наличных потенциалов территории с учетом необходимых затрат на их использование (Космачев, 1981).

Территориальный комплекс характеризуется определенными показателями неиспользуемых природных, демографических, производственных потенциалов, увязанных между собой взаимными потребностями и связями, а также требованиями к верхнему уровню отраслевого комплекса — ВХК по воде (рис. 9).

Предположим, что имеется площадь орошаемых земель F_{op} с возможным к увеличению потенциалом земель, пригодных к орошению $<F_{op}>$. Из фактически орошаемых земель часть (или вся площадь) водообеспечены недостаточно F_{op}'. В этом случае для использования первой очереди их потенциала $\Delta V'_{op}$ следует повысить водозабор на орошение на $\Delta W'_{op_t}$ без увеличения численности работающих в орошаемом земледелии ($\Delta L'_i=0$) и без дополнительных капиталовложений в орошаемое земледелие ($\Delta K_{1-6}=0$), увеличив использование всех других связанных потенциалов $\Delta V_{n_{1-3}}$, $\Delta V_{э_{1-4}}$, $\Delta V_{m_{1-5}}$. Это, в свою очередь, на основе матрицы взаимных связей материальных и трудовых ресурсов (табл. 17) вызывает необходимость использования (или привлечения) других ресурсов. При использовании второй очереди потенциала орошаемых земель $<F_{op_t}>$ с объемом продукции орошаемого земледелия $<\Delta V_{op_t}>$ необходимо увеличивать и трудовые ресурсы, и капиталовложения в орошаемое земледелие.

Увеличение объема орошаемого земледелия автоматически требует не только повышения первичных объемов использования всех ресурсов и потенциалов по вертикали, но и приводит к соответствующему необходимо-

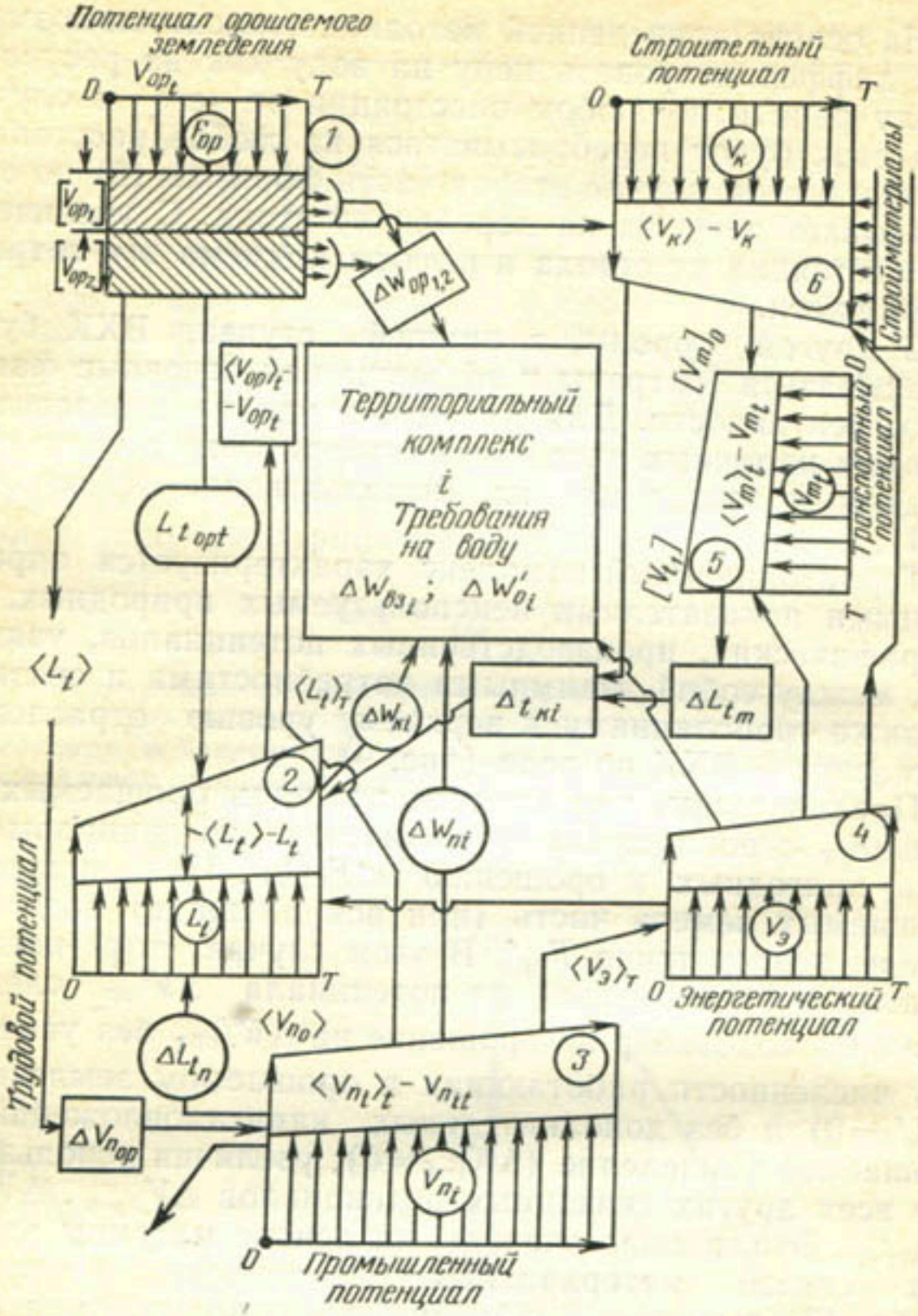


Рис. 9. Схема связи территориальных потенциалов в составе ВХК.

му увеличению под их влиянием использования и других взаимосвязанных уже при росте вторичных связей (по горизонтали) мощностей. До тех пор, пока суммарные (по вертикали) загрузки мощностей не будут превышать наличные потенциалы ($<V_j>_t - V_{jt}$), дополнительные капиталовложения для создания новых фондов не нужны, и лишь при их превышении:

18. Матрица взаимоувязки использования территориальных потенциалов

Потенциалы и объемы	Орошаемое земледелие (1)	Трудовые ресурсы (2)	Промышленный (3)	Энергетика (4)
Орошаемого земледелия	ΔV_{op}	ΔL_{12}	ΔV_{13}	ΔV_{14}
Трудовых ресурсов	ΔL_{12}	—	—	—
Промышленный	$\Delta V_{m_{1-3}}$	ΔL_{32}	ΔV_{33}	ΔV_{34}
Энергетический	$\Delta V_{э_{14}}$	ΔL_{42}	ΔV_{43}	—
Транспортный	$\Delta V_{m_{15}}$	ΔL_{52}	ΔV_{53}	ΔV_{54}
Строительный	$\Delta V_{к_{16}}$	ΔL_{62}	ΔV_{63}	ΔV_{64}
Водный	ΔW_{17}	ΔL_{72}	ΔV_{73}	ΔV_{74}
Территориальные Предельные потенциалы		$<L_t>-L_t$	$<V_n>_t-V_{n_t}$	$<V_э>_t-V_{э_t}$

Продолжение

Потенциалы и объемы	Транспортный (5)	Строительный (6)	Водный (7)	Эффективность
Орошаемого земледелия	ΔV_{15}	ΔV_{16}	ΔW_{17}	$\Delta Э_1$
Трудовых ресурсов	ΔV_{25}	ΔV_{26}	ΔW_{27}	$\Delta Э_2$
Промышленный	ΔV_{35}	ΔV_{36}	ΔW_{37}	$\Delta Э_3$
Энергетический	ΔV_{45}	ΔV_{46}	ΔW_{47}	$\Delta Э_4$
Транспортный	—	ΔV_{56}	—	$\Delta Э_5$
Строительный	ΔV_{65}	ΔV_{66}	—	$\Delta Э_6$
Водный	ΔV_{75}	ΔV_{76}	—	—
Территориальные Предельные потенциалы	$<V_m>_t-V_m$	$<V_к>_t-V_к$	ΔW_0	

$\sum_{j=1}^{N}\Delta V_{jt}>(<V_{jt}>-V_{jt})$ они потребуются.

Аналогично при $\sum_{j=1}^{N}\Delta L_{jt}>(<L_t>-L_t)$ необходимо дополнительное привлечение трудовых ресурсов, а при $\sum_{j=1}^{N}W_j><\Delta W_0>$ — дополнительный привод или переброска водного ресурса.

Оптимальный вариант развития ВХК бассейна может быть установлен последовательными расчетами на основе составления матриц межотраслевых балансов в соответствии с таблицей 18 и рисунком 8, используя следующую оптимизационную функцию:

$$\sum_{i=1}^{M}\left\{\sum_{j=1}^{N}\Delta Э_{ji}-n\left[\sum_{j=1}^{N}\Delta V_j-(\langle V_j\rangle-V_j)\right]\overline{K}_i-\right.$$

$$-\left[\sum_{j=1}^{N}\Delta L_j-(\langle L_i\rangle-L_i)\right]\overline{З}_i-$$

$$\left.-\left(\sum_{j=1}^{N}\Delta W_j-\langle\Delta W_0\rangle\right)\overline{Ц}_{вi}\right\}\longrightarrow \max, \qquad (10)$$

где M — число зон i в бассейне (или в ВХК); N — число рассматриваемых отраслей в ВХК при $1\leqslant j\leqslant N$; $\overline{K}_j$ — удельные капиталовложения на получение прироста продукции V_j; $\overline{З}_i$ — удельные затраты на привлечение одного трудоспособного человека в зоне i; $\Delta Э_{ij}$ — прибыль и социальные эффекты, получаемые в результате улучшения использования потенциалов территории и увеличения производства j продукции. Определяют по каждой горизонтали матрицы (табл. 20).

В качестве примера рассмотрим применение указанной методики при определении народнохозяйственной целесообразности развития ВХК на базе территориального перераспределения стока одной из рек. Свободные (без учета экологии) водные ресурсы к использованию составляют 45 км³ по году 90%-ной обеспеченности. Может быть предложено четыре зоны использования этой воды — на месте, на расстоянии 500...700 км по длине переброски (I участок), на расстоянии 1000...1700 км (II участок) и на расстоянии 1700...2200 км (III участок).

В зоне формирования отсутствует свободный потенциал трудовых ресурсов, капиталовложений, энергетики, транспорта, имеется промышленный потенциал и водный. Орошаемое земледелие дает эффект при использовании лиманного орошения для развития кормопроизводства и регулярного орошения на землях, занятых овощеводством. На других культурах орошение в зоне формирования эффекта не дает, тем не менее будет включен в расчеты и такой вариант.

В результате двух вариантов расчетов (табл. 19) установлено, что при общих совокупных затратах в первом варианте 2,6 млрд. р. при суммарном потреблении 3,6 км³ воды можно получить суммарную прибыль в 143,8 млн. р. при сроке окупаемости приведенных затрат в 14 лет.

Во втором варианте совокупные затраты при суммарном потреблении 23,8 км³ воды в год возрастают до 14,4 млрд. р., но вследствие убыточности возделывания зерна в этой зоне и кормов на рошении в целом срок окупаемости получается по приведенным затратам до 100 лет! В трех последующих зонах показатели приведены в таблице 20.

19. Расчетная матрица зоны формирования

Отрасль и варианты	Единица измерения	Натурные показатели	1 сельское хозяйство, млн. р.	2 трудовые ресурсы, тыс. чел.	3 промышленность, млн. р.	4 энергетика, тыс. кВт	5 транспорт	6 капиталовложения, млн. р.	7 вода, км³	Эффект, млн. р. в год
Орошение пойменных земель (I)	тыс. га	600	120	30,00	150,0	60,0	—	720	2,80	48,0
Орошение овощных культур (I)	тыс. га	90	113	90,00	95,0	90,0	—	414	0,60	36,0
Орошение зерновых и кормовых культур (II)	тыс. га	5 000	900	500,00	1 100,0	100,0	—	1 500	20,80	—325,0
Трудовые ресурсы:										
I	тыс.	63,8	—	—	—	10,4	—	574	0,05	—
II	тыс.	883,5	—	—	—	53,5	—	7 064	0,10	—
Промышленность:										
I	млн. р.	245	—	39,50	—	98,0	—	540	0,40	29,40
II	млн. р.	1 345	—	216,90	—	538,0	—	2 378	1,20	162,00
Энергетика:										
I	тыс. кВт	264	—	3,20	6,5	—	—	0,10	7,45	
II	тыс. кВт	1 027	—	15,80	27,4	--	—	0,20	29,40	
Строительство:										
I	млн. р.	2 493	—	31,00	12,0	58,0	—	249	—	22,40
II	млн. р.	28 301	—	153,60	65,0	140,0	—	1 305	—	117,40
Вода:										
I	км³	3,6		0,10	1,1	18,0	—	106	—	—
II	км³	23,8	—	0,55	4,6	116,0	—	810	—	—
Итого потребность										
I			233	193,80	246,6	334,7	—	2 603	3,60	143,20
II			1 133	1 013,50	1 442,0	1 097,0	—	2 8411	23,80	67,80
Потенциал (наличие)			—	130,00	80/97	70,0	—	110	45,00	—
I			233	63,80	245,0	264,4	—	2 493	—	—
II			1 133	883,50	1 345,0	1 027,0	—	28 301	—	—

20. Сопоставление вариантов развития ВХК

Зона	Направление использования воды	Площадь орошения, тыс. га	Объем водозабора, км³
Формирования	Орошение овощных культур, лугов	690	3,60
I зона переброски	То же	250	2,25
II зона переброски	Зерновые, овощные, кормовые культуры	1 000	5,60
III зона переброски	Хлопчатник, молочное животноводство, энергетика	2 000	18,20

Продолжение

Зона	Направление использования воды	Совокупные затраты, млн. р.	Суммарный эффект, млн. р. в год	Приведенная эффективность, млн. р. в год на 1 км³	Окупаемость, лет	
					по суммарным затратам	по производственным затратам
Формирования	Орошение овощных культур, лугов	2 603	143,2	39,8	18,5	14,0
I зона переброски	То же	1 284	63,6	28,2	20,2	17,2
II зона переброски	Зерновые, овощные, кормовые культуры	7 800	369,6	66,0	21,1	19,8
III зона переброски	Хлопчатник, молочное животноводство, энергетика	36 520	2414,9	132,6	15,9	14,0

Несмотря на преимущественное, казалось бы, расположение водопотребления в зоне формирования, в интересах народного хозяйства целесообразнее осуществить переброску стока и развития ВХК в зону III — наибольшей эффективности развития.

Предложенная методика позволяет на основе анализа территориальных потенциалов и связей проводить их увязку с развитием ВХК и устанавливать направление их оптимальной совместной динамики.

ПУТИ РАЗВИТИЯ ТЕРРИТОРИАЛЬНОГО УРОВНЯ ВХК НА ОСНОВЕ ОРОШАЕМОГО ЗЕМЛЕДЕЛИЯ

Залогом успешного роста народного хозяйства регионов в аридной зоне является увеличение производства продукции агропромышленного комплекса на базе орошения. Главным естественным ограничителем такого развития является дефицит водных ресурсов. Поэтому задача развития большей части экономики и подъема благосостояния населения тесно увязывается с необходимостью получения максимума производства продукции сельского хозяйства на единицу воды.

Территориальные комплексы, основанные на орошаемом земледелии, названы автором природно-производственным ирригационным комплексом (ППИК), который предложено рассматривать в качестве оптимального сочетания управляемых природных ресурсов и специально созданной производственной базы, инфраструктуры для развития высокопродуктивного орошаемого земледелия и сопутствующих производственных направлений.

Такое рассмотрение не ограничивается границами только агропромышленного комплекса (АПК) — оно в пределах территориального промышленного комплекса (ТПК) охватывает преобладающее число производственных и природных связей, реагирующих на изменение внутренней и внешней обстановки в нем. Рассматриваемый ППИК является особым видом ТПК.

Особенности ППИК: единство территории и схемы водного питания как геотехсистемы, определяющей контур комплекса; единые технологические связи, рассматриваемые с позиций максимального ускорения развития интенсивного орошаемого земледелия, охватывающие не только производственную сферу, но и изменяющиеся природные ресурсы; комплексное использование динамично развивающихся природных ресурсов при максимальной эффективности водного фактора и направленном изменении природных условий в сторону повышения их потенциальной продуктивности. В состав программы формирования, кроме производственной и социальной подпрограммы, входит еще и экологическая; организационное единство планирования, строительства и преобладающей части финансирования, создание единых эксплуатационных органов.

Наиболее отличительный фактор — роль природных

ресурсов. В обычном ТПК они участвуют, хотя и в значительной мере, в качестве используемого ресурса, но не оказывают активного влияния на землю и другие природные ресурсы и являются в определенной степени инертными, неуправляемыми. Оценка воздействия ТПК на природную обстановку сводится к оценке нарушений экологического равновесия под влиянием повышенной экологической плотности, когда природная среда не в состоянии справиться с технологическими выбросами (загрязнение воздуха, грунтовых и поверхностных вод), усиленных техногенных воздействий, изъятия невозобновляемых природных ресурсов.

В рассматриваемом комплексе происходит, как будет показано в главе III, постоянное взаимодействие с возобновляемыми ресурсами (вода, плодородие земель) и благоприятное влияние на ряд природных условий (климат, фауна и т. д.).

При этом основной ресурс — вода — не только сам воздействует на всю экономику, определяя основные изменения в ней, но и активно влияет на другие природные ресурсы, динамично изменяя их характеристики и подвергаясь изменению от воздействия с ними. Причем от направленности изменений природной обстановки зависит успех или неудача в развитии всего комплекса.

Учитывая такое важное значение природных условий, предлагается ирригационный комплекс классифицировать как особый вид территориально-производственного — природно-производственный, в котором активно участвуют природные факторы и в первую очередь вода.

Такую направленность комплексов, основанных на особенностях развития водного хозяйства, предусматривал А. Н. Костяков, указывая, что в засушливой зоне необходимо создание комплексов с преобладающим оросительным направлением, которые далеко выходят за рамки территориальных, так как их природные изменения влияют и в зонах, и далеко за пределами непосредственного влияния.

Ведущей и определяющей частью комплекса является орошение пустынных земель, которое определяет потребные темпы планомерного и пропорционального развития различных отраслей экономики региона, объемы капитальных вложений, темпы социального и демографического прогресса.

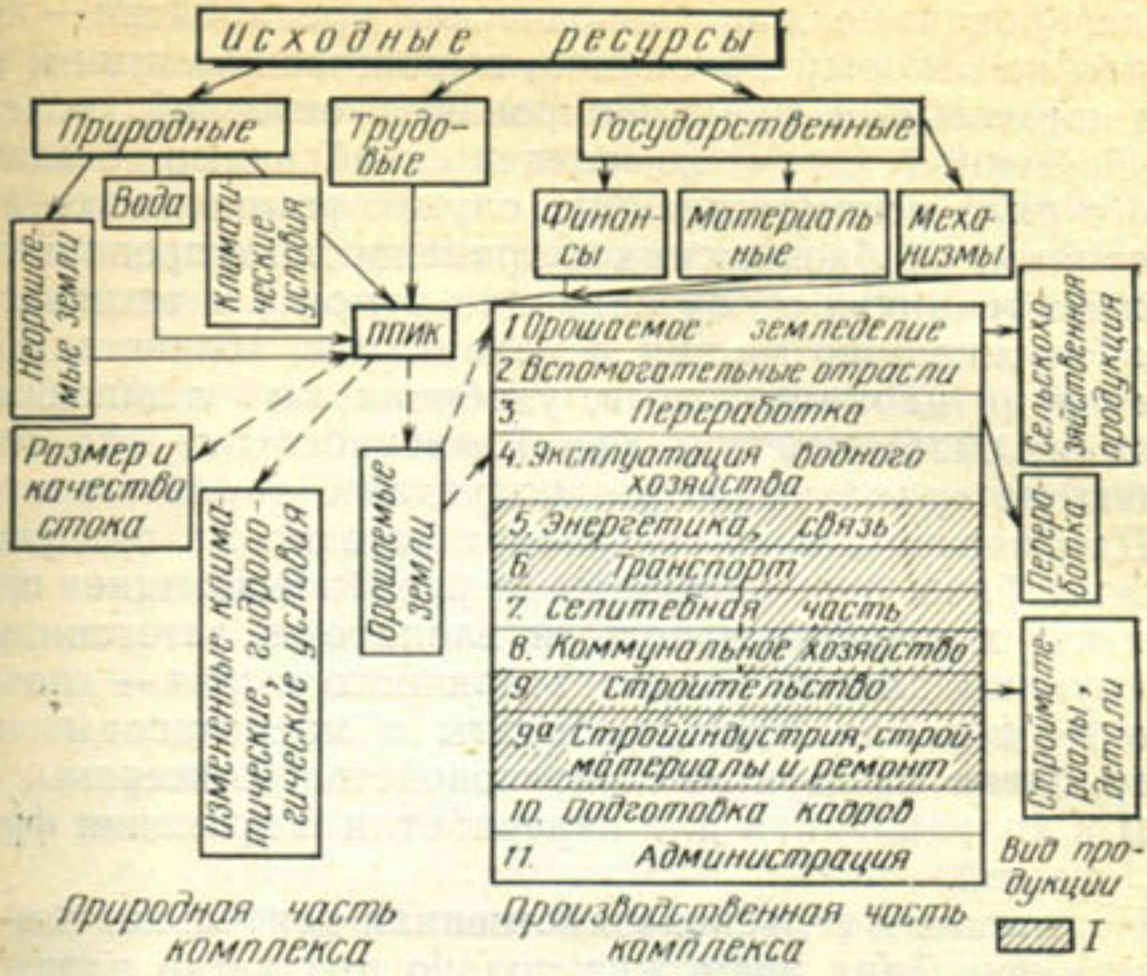


Рис. 10. Схема формирования ППИК:
I — элементы, переходящие в ТПК.

В связи с этим структура ППИК (рис. 10), рассматриваемого в качестве нижней территориальной ступени ВХК, состоит из исходных природных ресурсов: воды, неорошаемых земель, климатических условий; финансов, материалов, удобрений, механизмов; трудовых ресурсов. В результате образуется ППИК, в котором выделяются природные и производственные части. Однако природная часть комплекса представлена не исходными естественными условиями, а измененными и преобразованными при помощи инженерных сооружений, мероприятий и воды. С другой стороны, в составе ППИК складывается определенная производственная деятельность, включая основную сферу (I) — сельскохозяйственное производство на орошаемых землях, обеспечивающее получение хлопка, риса, зерна, овощей, фруктов, бахчевых и других сельскохозяйственных культур, а также на основе внедрения севооборотов и посевов кормовых культур — высокопродуктивное животноводство. Организационной формой этой части комплекса являются совхозы и спе-

циализированные животноводческие предприятия — комплексы по откорму молодняка, выращиванию птиц и т. д. Для нормального функционирования основной сельскохозяйственной части комплекса необходимо создание целого ряда вспомогательных служб: ремонтно-эксплуатационных, снабженческих и транспортных предприятий «Сельхозтехники» по организации ремонта и техническому обслуживанию машин и механизмов, хозяйств, обеспечения их ядохимикатами, удобрениями и запасными частями; снабженческих баз Главснабсбыта — по снабжению материалами, нефтепродуктами, топливом и т. д.

Для переработки сельскохозяйственной продукции должны быть организованы перерабатывающие предприятия: хлопковые заводы и хлопковые заготовительные пункты для получения вторичного сырья — хлопка-волокна и семян; мясокомбинаты и маслозаводы для переработки продуктов животноводства; консервные заводы и холодильники для переработки и хранения фруктов, овощей.

Нормальная сельскохозяйственная деятельность в условиях орошения возможна только при четко налаженной службе эксплуатации водохозяйственных объектов, включая формирование водных ресурсов, их распределение, содержание межхозяйственных сооружений, поддержание и техническое обслуживание внутрихозяйственных сооружений, мелиоративный контроль за состоянием земель и т. д. Для этого в составе комплекса должны быть созданы соответствующие водохозяйственные и эксплуатационные органы энергетики и связи, транспорта и дорог. Размещение всего необходимого для нормального функционирования производств — персонала, их семей, обеспечение культурно-массового и коммунально-бытового обслуживания требуют создания крупных селитебных центров, поселков и городов. Для эксплуатации всех сложнейших коммунальных (тепловых, водопроводных, канализационных и газовых) магистралей и сооружений необходимо организовать свои эксплуатационные органы. Наконец, нужно создать специальную отрасль, которая бы построила и сдала в эксплуатацию объекты всех вышеперечисленных назначений — строительство и строительную индустрию, имея в виду не только строительные организации, их базы, но и предприятия строительных материалов и конструкций (карьеры, заводы, домостроительные комбинаты).

Несколько особняком стоят две функциональные составляющие производственной части комплекса: подготовка кадров различных квалификаций для всех отраслей сельского хозяйства, коммунального хозяйства и строительства, административных органов, включая администрацию комплекса, юридических и советских органов.

Особенностью нынешнего экономического прогресса в стране являются комплексные программы, которые развиваются по отраслевой и территориально-производственной структурам. Наряду с объединением предприятий и организаций по горизонтали «вширь» на основе территориального признака, подчиненного по динамике одной какой-то ведущей отрасли, формируются отраслевые комплексы по вертикали отраслей, увязываясь с территориально-производственными в их планомерно-пропорциональном развитии.

Связь ППИК с отраслевыми комплексами осуществляется двояко. С одной стороны, развитие ППИК ставит в качестве граничных условий требования на дополнительную потребность в производстве минеральных удобрений и химикатов, машин для сельского хозяйства, пищевой промышленности, энергетических мощностей при машинном орошении земель, развития железнодорожных и автомобильных магистралей. Следовательно, пересечение интересов ППИК и отраслей требует территориального развития отдельных комплексов: топливно-энергетического, машиностроительного, транспортного и т. д.

С другой стороны, часть элементов ППИК является одновременно элементами отраслевых (рис. 13, п. 2, 3, 10) или становятся ими после перехода к периоду стабилизации.

Формирующийся комплекс в любой период его создания может быть представлен как функционал его составляющих вида:

$$\Phi_{t_0} = f\left[\sum_{i=1}^{n}\sum_{t=0}^{T} V_{ti};\quad \sum_{j=1}^{m} F_{tj};\quad (W_{nt}-W_{ot});\right.$$

$$\left.\sum_{t=0}^{T}\sum_{i=1}^{n} K_{ti};\quad Л_t;\quad \sum_{i=1}^{n}(O_{\Phi ti}+O_{\text{б}ti})\right], \qquad (11)$$

где W_{nt} и W_{ot} — соответственно объем поданной и отведенной воды

в любой момент времени; $Л_t$ — трудовые ресурсы в любой момент времени; $О_{ф t_i}$ и $О_{об t_i}$ — соответственно основные и оборотные фонды в i отраслях комплекса в любой момент времени.

При этом между всеми составляющими в зависимости от стадии существования или формирования ППИК имеются постоянные вертикальные и горизонтальные связи, регулирующие систему и ее составляющие в период динамического становления и развития. Одновременно происходит и процесс качественного нарастания продуктивности земель, снижения расходов воды и т. д.

Закон планомерного, пропорционального развития социалистического хозяйства определяет не только планомерное развитие отраслей народного хозяйства, но и пропорциональное развитие ППИК. Это проявляется в четких организационных и экономических связях между всеми производственными и экономическими составляющими комплекса. Если учесть, что главным преобразованным природным детерминантом орошаемого земледелия является его площадь, то от этого основного показателя могут быть определены объемы сельскохозяйственного производства и эксплуатации водохозяйственных объектов, а исходя из них и размеры.

Требуемые электроэнергия и транспорт являются функцией разрастающихся производств.

Имеются и более сложные связи: развитие всех отраслей определяет нужный масштаб строительства, а тот, в свою очередь, — потребность строительной базы, а от этих факторов зависит количество необходимых электроэнергии, транспорта и жилья.

Объем жилья и непроизводственных объектов — функция объема всех видов производства и соответственно производительности труда.

Основным элементом является мощность сельскохозяйственного производства, определяемая вводом орошаемых земель F_t. В зависимости от коэффициента земельного использования (КЗИ), состава культур севооборота $(\sum_{0}^{\bar{m}} j)$ и урожайности этих культур $(У_{tj})$ определяют валовую продукцию основной части сельскохозяйственного производства — земледелия, а затем по удельному весу кормовых культур, тутовника, садов, прогнозу их развития — динамику и объем продукции всех N отраслей сельскохозяйственного производства, садоводства, шелководства и с их учетом валовую продукцию

всего сельскохозяйственного производства (V_{tj}), которая может быть определена так:

$$V_{t_1} = \sum_{j=1}^{\overline{m}} F_{tj} Ц_{tj} \overline{У}_{tj} \left[1 - \left(\frac{\Delta V_{nt}}{W_{no}} \right)^{\lambda j} \right] \times$$

$$\times (L_{t_1} a_1 + d_{t_1} b_1 + \gamma_{t_1} C_1) A, \qquad (12)$$

где $Ц_{tj}$ — цена на единицу j продукции; $\frac{\Delta W_{nt}}{W_{no}}$ — недодача воды; λ_j — коэффициент изменения урожайности культуры от водообеспеченности; d_{t_1} — обеспеченность удобрениями; γ_{t_1} — обеспеченность производственными фондами; a_1, b_1, c_1, A — матричные коэффициенты.

Структура многочлена принята исходя из того, что каждая продукция может быть выражена как функция ряда составляющих: трудовых ресурсов, материальных и основных фондов, а также водообеспеченности.

В результате обработки собранных данных за весь период освоения новой зоны Голодной и Каршинской степей по предложенной зависимости получены следующие коэффициенты методом множественной регрессии:

	a	*b*	*c*	*A*
Голодная степь . . .	0,46	0,03	0,51	0,66
Каршинская степь . .	0,27	0,89	0,05	0,48

Объем животноводства и прочих отраслей сельского хозяйства может быть определен аналогично исходя из наличия поголовья, но в матричные коэффициенты вместо второго члена (обеспеченность материальными ресурсами) вводится обеспеченность кормами.

Объем всех соответствующих направлений производства можно определить из рисунка 11. По приведенным зависимостям вычисляют объем требуемых объемов производственных и непроизводственных направлений, а затем капиталовложений.

Если рассмотреть все представленные зависимости, определяющие совокупную производительность нижней ступени ВХК, то легко заметить, что она определяется рядом факторов: обеспеченностью отраслей, входящих в состав ППИК, социальной и производственной инфраструктурой и материальным снабжением; увязкой отраслей между собой; площадью орошаемых земель и ее продуктивностью как главными определителями комплекса; водообеспеченностью орошаемого земледелия.

	Направление производства или сферы обслуживания комплекса	Формула объема производства
1	Объем сельскохозяйственного производства	V_1
2	Обслуживающее производство	$V_{t_2} = V_{t_1}(\Pi_{t_2} a_2 + d_{t_2} b_2 + \gamma_{t_2} C_3)\, n_3$
3	Переработка сельскохозяйственной продукции	$V_{t_3} = \sum_0^n V_{tjl}(\Pi_{t_3} a_3 + d_{t_3} + \gamma_{t_3} C_3)\, n_3$
4	Эксплуатация водного хозяйства	$V_{t_4} = W_{n_t} \bar{U}_6 (\Pi_{t_4} a_4 + d_{t_4} b_4 + \gamma_{t_4} C_4)$
5	Энергетика и связь	$V_{t_5} = \sum_0^n V_{t_i}\, n_{5i}(\Pi_{t_5} a_5 + d_{t_5} b_5 + \gamma_{t_5} C_5)$
6	Транспорт и дороги	$V_{t_6} = \sum_0^n V_{t_i}\, n_{6i}(\Pi_{t_6} a_6 + d_{t_6} b_6\ \gamma_{t_6} C_6)$
7	Жилье и селитебный комплекс	$V_{t_7} = \sum_0^N \frac{V_{ti}}{\Pi_i}(f_1 Ж_1 S_1 + f_2 Ж_2 S_2 g_2 + f_3 Ж_3 S_3 g_3)\,\eta_r$
8	Коммунально-бытовое обслуживание	$V_{t_8} = n_8 V_{t_7}$
9	Объем строительства	$V_{t_9} = \sum_0^N V_{t_i} \bar{K}_{t_i}$

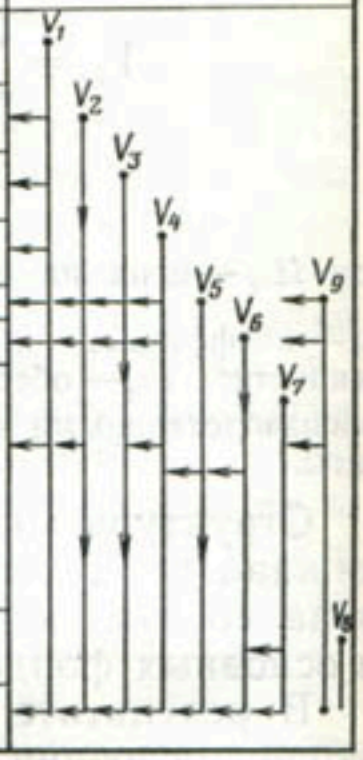


Рис. 11. Схема определения объемов составляющих комплекса в увязке с объемом сельскохозяйственного производства:

n_i — коэффициенты межотраслевых балансов; f_1, f_2, f_3 — доля людей, проживающих в общежитиях, вагонгородках и постоянном жилье; $Ж_1$, $Ж_2$, $Ж_3$ — соответственно удельные нормы жилья; S_1, S_2, S_3 — соответственно стоимость 1 м² жилья; q_2, q_3 — коэффициент семейности для проживающих в вагонгородках и постоянном жилье; η_r — градостроительный коэффициент.

Исходя из представленных выше целей повышения продуктивности ППИК на единицу воды необходимо постоянно увеличивать валовую продукцию орошаемого земледелия на существующих землях и развивать орошение и освоение новых земель.

Совершенствования орошаемого земледелия, с одной стороны, достигают повышением обеспеченности его основными фондами, жилищными и культурно-бытовыми объектами, повышением организационного и квалифицированного уровня руководства, улучшением семеноводства за счет механизации, снижением затрат труда, внедрением районированной системы земледелия. С другой стороны, важной частью этого процесса является реконструкция оросительных систем (переход на технически совершенные системы, повышение КЗИ, водообеспеченности, КПД систем), улучшение мелиоративного состояния земель и снижение потерь урожая от засоления или заболачивания, повышение степени выров-

ненности рельефа и отсюда улучшения условий увлажненности. Технически совершенные системы позволяют снизить эксплуатационные затраты, повысить работоспособность оросительной системы, уменьшить издержки в сельскохозяйственном производстве. Наконец, главный эффект от реконструкции заключается в снижении удельных расходов воды на гектар, что в сочетании с предшествующими факторами дает резкое повышение продуктивности орошаемых земель на единицу продукции.

Выполненный до последнего времени огромный объем работ в этих направлениях позволил резко улучшить показатели водного и сельского хозяйства. Так, в Узбекистане за период с 1966 по 1980 г. реконструирована оросительная сеть на площади 1,3 млн. га, проведены капитальная планировка на 634 тыс. га и мелиоративное улучшение 2,2 млн. га. В результате КПД оросительной сети увеличился с 0,48 до 0,61; достигнуто полное мелиоративное благополучие на 2,6 млн. га; урожайность хлопка-сырца повысилась на 0,7 т/га и достигла в среднем 3,254 т/га.

Современный этап реконструкции предусматривает достижение минимальных расходов воды на единицу урожая.

С этой целью разработаны предложения по комплексной реконструкции орошаемых земель. Эффективность реконструкции, кроме повышения продуктивности существующих земель, позволит высвободить ресурсы воды за счет рационального использования и создать возможности для дальнейшего развития нового орошения.

ОРОШЕНИЕ НОВЫХ ЗЕМЕЛЬ

Орошение и освоение новых земель — главное направление экономического прогресса в аридной зоне. До 60 годов оно осуществлялось раздельным методом, при котором весь необходимый объем работы для орошения и освоения новых земель производился различными организациями, ведомствами и службами, не объединенными единым руководством, планом и финансированием, при этом водохозяйственные организации выполняли работы по строительству магистральных, межхозяйственных и хозяйственных каналов, крупных

водоприемников и коллекторов, частично осуществляли переустройство старой сети, однако вопросы сельскохозяйственного освоения оставались вне поля зрения. Освоением земель занимались республиканские министерства сельского хозяйства и в первую очередь сами хозяйства.

Задачи освоения новых земель в нашей стране потребовали изменения форм и принципов водохозяйственного строительства.

Новая зона Голодной степи представлялась как раз таким объектом, где следовало отработать, проверить и внедрить в практику принципы нового, так называемого комплексного метода строительства.

Комплексный метод — орошение и освоение земель по единому проекту и плану в основном по линии одного заказчика силами одной организации, несущей полную ответственность от проекта до полного освоения массива.

Уже на первом этапе строительства была создана единая строительно-освоенческая организация — Главголодностепстрой, на которую возлагались и координация работ, и осуществление строительства, и освоение вновь орошаемых земель.

Орошение земель начинали не сразу, а сначала создавали мощную базу индустрии, поселки, затрачивая часть выделенных капитальных вложений, с тем, чтобы при наличии закрепленного в этих поселках рабочего контингента и ИТР в последующем ускоренными темпами вести строительство и освоение земель.

Создание в составе строительно-освоенческой организации базы стройиндустрии позволило перенести целый ряд работ со строительной на заводскую площадку для максимального повышения заводской готовности изделий, доведения их почти до полной комплектности и предварительного укрупнения. Кроме того, единое управление промышленностью и строительством создало четкую систему комплектации в соответствии с графиками строительства.

Преимущества комплексного метода строительства и освоения земель видно из сопоставления его с показателями раздельного освоения (табл. 21).

Принципиально новые организационные и технические решения по мелиоративному строительству в комплексе с мероприятиями по хозяйственному освоению

21. Показатели освоения новой зоны Голодной степи с объектами раздельного метода освоения в Средней Азии

Объект	Ежегодный прирост земель, тыс. га			КЗИ	Земли, выпавшие из орошения, %	Показатели к концу освоения	
	подготовленных	орошаемых	под хлопком			обеспеченность фондами, р/га	продуктивность земель, р/га
Новая зона Голодной степи	17,0	15,4	11,0	0,920	1,2	3 800	1 730
Старая зона Голодной степи (1947—1959 гг.)	3,9	3,3	2,4	0,810	22,5	897	1 104
Шерабадская степь	4,5	3,8	3,0	0,725	9,6	2 640	1 235
Центральная Фергана	5,2	4,3	3,1	0,840	27,1	351	765
Мургабский оазис (1954—1967 гг.)	4,4	3,1	2,2	0,700	22,5	826	854

земель, апробированные в Голодной степи, нашли широкое применение при освоении крупных массивов Каршинской степи, юго-западных районов Узбекистана, низовьев Амударьи, зоны Каракумского канала Туркмении, Яван-Обикиикской долины Таджикистана и других районов и республик нашей страны.

Комплексное строительство, начатое в Голодной степи, получило дальнейшее развитие благодаря деятельности вновь созданного в 1963 г. Главного среднеазиатского управления по орошению земель и строительству совхозов. Главсредазирсовхозстрой расширил сферу комплексного метода, включив в него, кроме освоения, строительства и создания баз стройиндустрии, еще и проектирование, внедрение новой техники, конструирование и научно-исследовательские работы, подготовку кадров среднего звена и т. д.

В связи с этим в структуре Главсредазирсовхозстроя появились проектные институты «Средазгипроводхлопок» по водохозяйственным объектам и «Средазгипроцелинстрой» по промышленно-гражданским объектам, проектно-технологический институт «Оргтехстрой», семь техникумов, ГСКБ по ирригации с отделением по внедрению новой техники.

Рис. 12. Сравнительная эффективность комплексного освоения в Голодной (*1*) и Каршинской (*2*) степях по остаточным затратам на орошаемый гектар.

Комплексное строительство было развернуто Главсредазирсовхозстроем в Каршинской степи, Каракалпакии, Таджикистане.

После майского (1966 г.) Пленума ЦК КПСС по примеру Голодной степи комплексное строительство развернулось в зоне Каракумского канала, в Казахстане, Белоруссии, Поволжье и т. д. По мере усложнения условий развития орошения в Средней Азии расширялся круг задач и объектов, включавшихся в сферу работ по орошению земель, увеличивалась капиталоемкость орошения и одновременно уменьшался удельный вес мелиоративного строительства.

Успешное осуществление комплексного строительства и освоение земель тем не менее не исключают недостатков, которые приводят к снижению эффективности территориальных комплексов. Наиболее распространенные из них систематизированы и приведены ниже.

Стремление к максимальному выполнению плановых показателей в каждом направлении не всегда совпадает с интересами конечной продукции комплексного освоения. Поэтому необходимо критерием деятельности участников строительства и освоения считать не просто выполнение планов в общих показателях по отрасли, а строгое выполнение своего участия в увязанной программе. Отклонение в любую сторону приводит к диспропорциям, влияющим в конечном счете на эффективность комплекса.

Так, несмотря на благоприятные экономические и климатические условия для усиленного и более эффективного комплексного освоения земель первой очереди Каршинской степи, вследствие многочисленных отступлений от проекта, отклонений в подборе культур, в методах освоения окупаемость здесь оказалась намного ниже, чем в Голодной степи (рис. 12).

Надежность соблюдения комплексности строитель-

ства может быть повышена определенными организационными мерами. С этой целью строительные работы и работы по освоению необходимо разбивать на элементарные специализированные потоки с расчетным ритмом и постоянными связями, обеспечиваемыми базами стройиндустрии и определенным запасом времени на комплектацию.

Значительную потерю эффективности функционирования комплекса вызывает преждевременная передача хозяйств и предприятий из-под ВХК.

Сдача хозяйств органам минсельхоза — один из ключевых моментов эффективности комплекса. В Голодной степи, например, из 57 хозяйств к настоящему времени сдано только 23, или 40%, хотя во всех передаваемых совхозах валовое производство и урожайность достигли проектного уровня. Сдача хозяйств, по мнению автора, затягивается из-за недоделок по непроизводственному и производственному строительству, а также из-за нарушения установившихся в системе комплексного строительства обеспечивающих и экономических связей.

Например, совхозы № 1, 6, 17, 28 сданы в 1970 г. первыми из строящихся хозяйств со степенью готовности выше 95%. Сразу после передачи все хозяйства снизили экономические и сельскохозяйственные показатели. Расположенные в различных административных районах, лишенные снабженческих, эксплуатационных и обслуживающих баз Голодностепстроя (хотя какое-то время они и продолжали обеспечивать переданные хозяйства), совхозы утратили привычные экономические связи и длительное время осваивались в новой системе.

Целесообразно так планировать комплексное строительство и освоение, чтобы формирование связей, развитие хозяйств и обслуживающей сферы шли на районном уровне. При этом сдачу следует вести не отдельными хозяйствами, а районными агропромышленными комплексами (узлами АПК) с уже установившимися связями, межхозяйственными базами и эксплуатационными органами. В то же время элементы, не входящие в АПК (стройбазы и стройорганизации, ЛЭП, ЛС), перейдут постепенно в отраслевые ТПК.

При этом на основе четкого установления границ будущего района на стадии технического проектирования определяют все необходимые объемы районного агропромышленного узла (или объединения), включая растениеводство, базы Сельхозтехники и Сельхозхимии, переработку сельхозпродукции, эксплуатацию водного

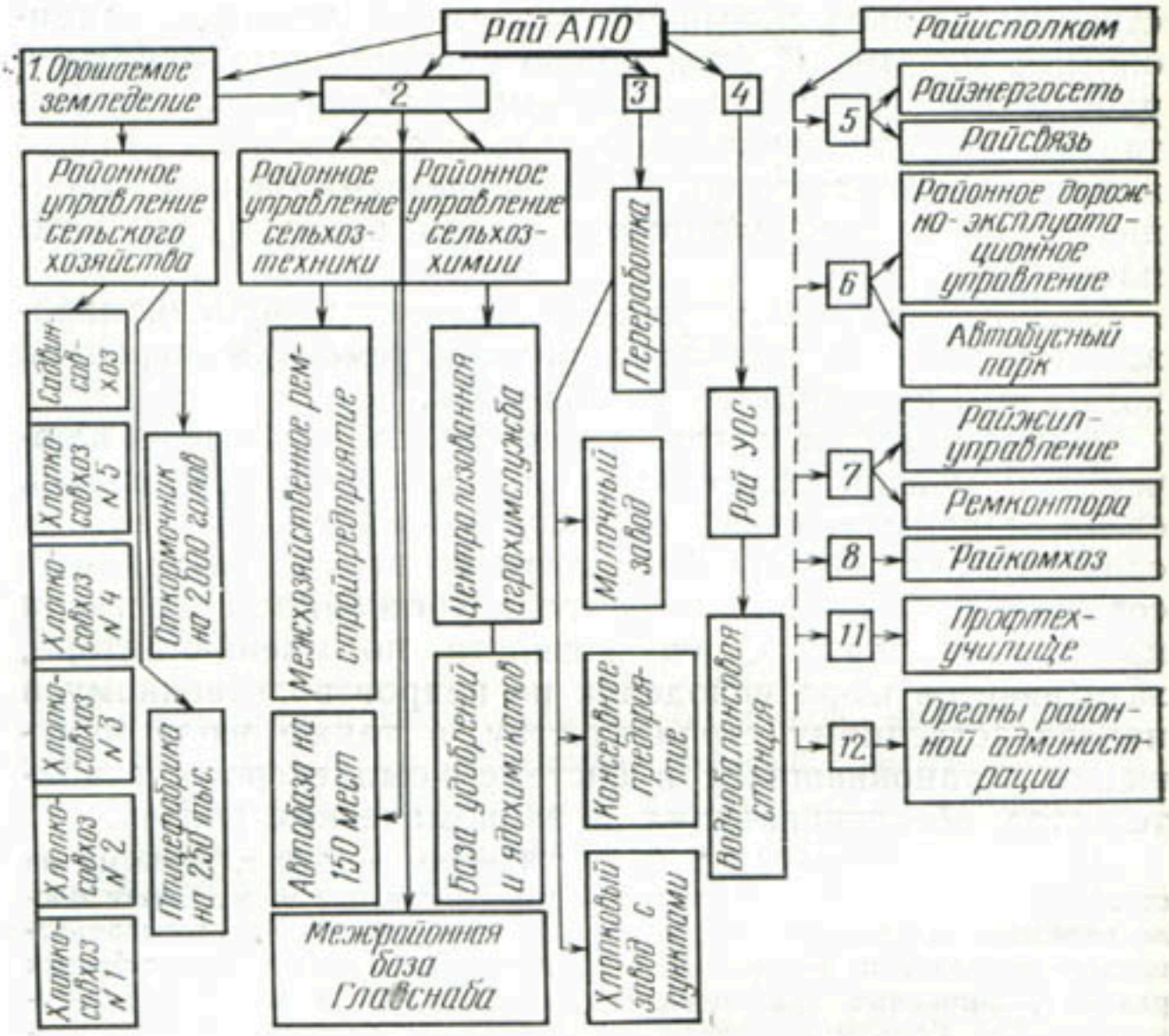


Рис. 13. Схема районного агропромышленного объединения и формируемых районных организаций.

хозяйства (на уровне РайУОСов), энергетику, связь и транспорт, а также селитебный комплекс, которые могут быть определены для масштабов района по зависимости (12) и рекомендациям, приведенным на рисунке 13.

Передача отдельных элементов ППИК в постоянную эксплуатацию должна идти после завершения формирования производства, экономических связей и стабилизации природных условий под влиянием орошения. Это возможно именно в виде передачи не отдельных хозяйств, а завершения и отпочкования из состава ППИК завершенных районных АПК в виде законченных районных объединений (рис. 12). Такая организация работ избавит формирующийся ППИК от возможности снижения валового производства и эффективности.

Недостатки, вызванные ошибками в прогнозе изменений природных условий под влиянием развивающегося орошения, вызваны обычно либо недостаточностью или отсутствием всестороннего прогноза этих изменений, либо ошибками в принятых расчетных схемах, либо недостаточно тщательными изысканиями.

Недостатки	Причины
Диспропорция в развитии отдельных отраслей и создании экологических связей	Отсутствие генеральной схемы освоения; нарушение планирования; неправильное проектирование; недостаточное изучение природных условий; отвлечение средств на другие нужды; недостаток средств; обилие заказчиков
Отставание баз, транспортных и магистральных коммуникаций, вспомогательных и обслуживающих предприятий	Неправильное планирование; недостатки в проекте; недостаток средств; отставание строительства; медленное освоение мощностей
Нарушение экологической направленности освоения, ухудшение качества воды и снижение продуктивности земель	Отсутствие или ошибки в экологическом прогнозе; неправильные исходные данные; дефект в проекте; недостаток средств; срывы в эксплуатации; отставание в строительстве
Недостатки в эксплуатации	Дефекты и недоделки в строительстве; отсутствие средств; несоответствие проекту; не подготовлен персонал; дефицит техники; отклонение от первоначальной схемы районной планировки; преждевременная передача в состав АПК

Детальная обработка методов прогнозирования природных условий, а также обязательное включение в состав технико-экономических обоснований, схем и технических проектов разработки таких прогнозов на основе тщательного изучения особенностей природных условий на объекте орошения и на прилегающих территориях позволят устранить этот недостаток.

В то же время даже при самых отличных прогнозах невнимание к изменениям природной среды в процессе строительства и освоения может привести к таким же неприятным последствиям. Так, по проекту Аштского массива первой очереди освоения в Таджикистане

предусматривалось совместное питание этого массива машинного орошения из Сырдарьи и из скважин, которые одновременно должны были бы ликвидировать возможное поднятие уровня грунтовых вод при орошении. Отставание строительства каскада насосных станций и опережающее развитие орошения только на скважинах привели к снижению за 3 года уровня грунтовых вод на 5...7 м, понижению удельных дебитов скважин, повышению минерализации откачиваемой воды в отдельных скважинах до 3,5 г/л. Из-за отсутствия наблюдений за текущей природной обстановкой эти изменения были обнаружены только на третий год, когда они достигли недопустимых величин и потребовали дополнительных капиталовложений на их ликвидацию.

Предотвратить эти отклонения можно, создав в составе производственных организаций ППИК мелиоративные, метеорологические и другие службы для наблюдения за соответствием изменений природных условий проектным прогнозам и своевременно их выявить. Одновременно эти службы могут корректировать модели управления, построенные на основе схематизации происходящих в них процессов, сопоставляя их с данными натурных изменений.

Так, на основе наблюдений мелиоративной службы Голодностепстроя за динамикой уровней грунтовых вод и солевым режимом почвогрунтов удалось уточнить расчетную схему дренажа и сократить вдвое против проекта густоту горизонтального дренажа, что позволило только по совхозу № 17 сэкономить около 1,2 млн. р.

Как видно, анализ всех имеющихся недостатков в освоении крупных массивов земель позволяет установить возможность их устранения путем правильного планирования составляющих ППИК на основе метода целевых комплексных программ; разбивки строительно-освоенческого процесса на специализированные потоки, подкрепленные потоками комплектации, увязанные на основе программы формирования ППИК; установления строгого контроля за выполнением программы формирования на основе отчетности за выполнение своего участия в формировании ППИК, а не за выполнение показателей развития отдельных направлений; тщательного изучения природной среды, прогнозирования ее изменений и контроля в процессе формирования ППИК за ходом этих изменений; передачи отдельных законченных

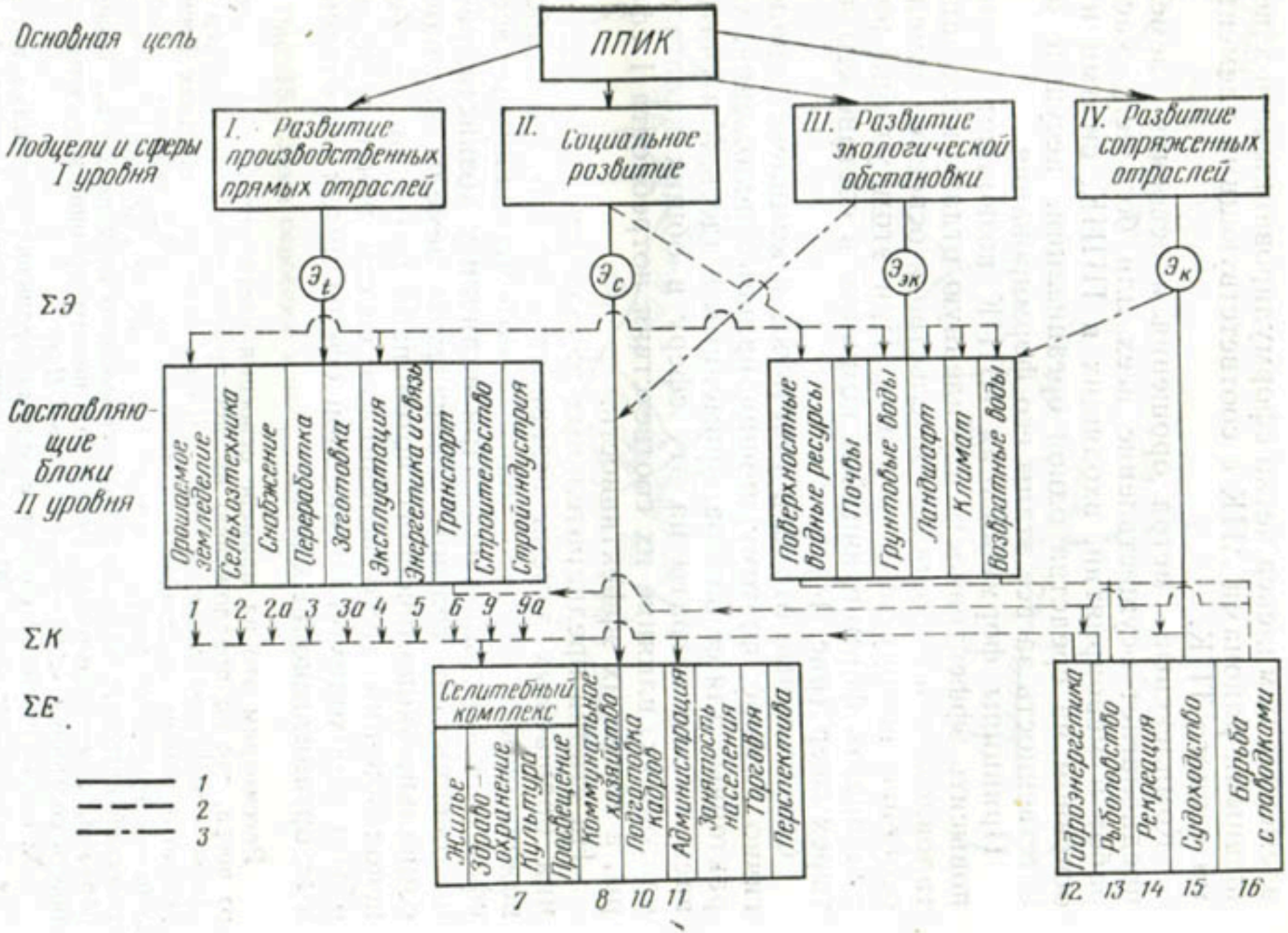


Рис. 14. Схема связей составляющих комплекса, его сферы и блоки:

1 — прямые связи; *2* — связи влияния; *3* — косвенные связи.

элементов комплекса четко сформулированными и завершенными районами АПК с соответствующими элементами единого ТПК.

Комплексный метод орошения и освоения земель предполагает осуществление всех или большей части работ и мероприятий, входящих в ППИК, силами и в основном на средства одной организации, несущей ответственность за все этапы его формирования.

Принципы формирования ППИК позволяют резко повысить эффективность и усиленную отдачу всех капиталовложений в новое строительство и освоение земель, особенно на крупных массивах. При этом удобно рассматривать формирующийся комплекс в составе его четырех сфер (рис. 14).

Сопряженные отрасли участвуют в комплексе аналогично I сфере, поэтому принципиальные положения, характерные для ее блоков, применимы и здесь. Мы учитываем только затраты на эту сферу в общих капиталовложениях, влияние их соответствия потребности I сферы, а также их эффективность.

На стадии предварительных разработок плана освоения орошаемых земель независимо от его масштабов важно определить необходимые объемы развития всех сфер и особо социальной. При наличии у хозяйств, расположенных на границе осваиваемых земель, высокого социально-экономического потенциала возможно за счет использования этого потенциала свести почти к нулю объем необходимой социальной сферы путем определенных организационных мер.

Рассмотрим это на примере освоения части земель Джизакского веера, где по предложению автора такой прием был проведен с высокой эффективностью в 1968—1973 гг. В пяти хозяйствах Джизакского района с площадью нетто от 1,5 до 2,2 тыс. га имелся избыток трудоспособного сельского населения (8 тыс. чел.) при фактической нагрузке на одного трудоспособного от 2 до 2,8 га. Таким образом, демографический потенциал нового орошения у этих хозяйств составлял $<F>=n_р(<П_р>-П_р)$.

Хозяйственный потенциал развития орошения составлял в целом по колхозам около 20 тыс. га нового орошения. Автором было предложено освоить на прилегающих землях Джизакского веера к левому берегу ЮГК для этих хозяйств 12,5 тыс. га, осуществив прирезку по границе хозяйств в зоне «челночной миграции» населения, когда трудящиеся выезжают на место сельскохозяйственных работ в пределах возможного еженедельного возвращения к месту жительства (20...30 км) (по исследованиям социологов, такая зона составляет в Средней Азии 15...25 км). В результате за 5 лет новые земли были не только полностью орошены, но и освоены с высокой

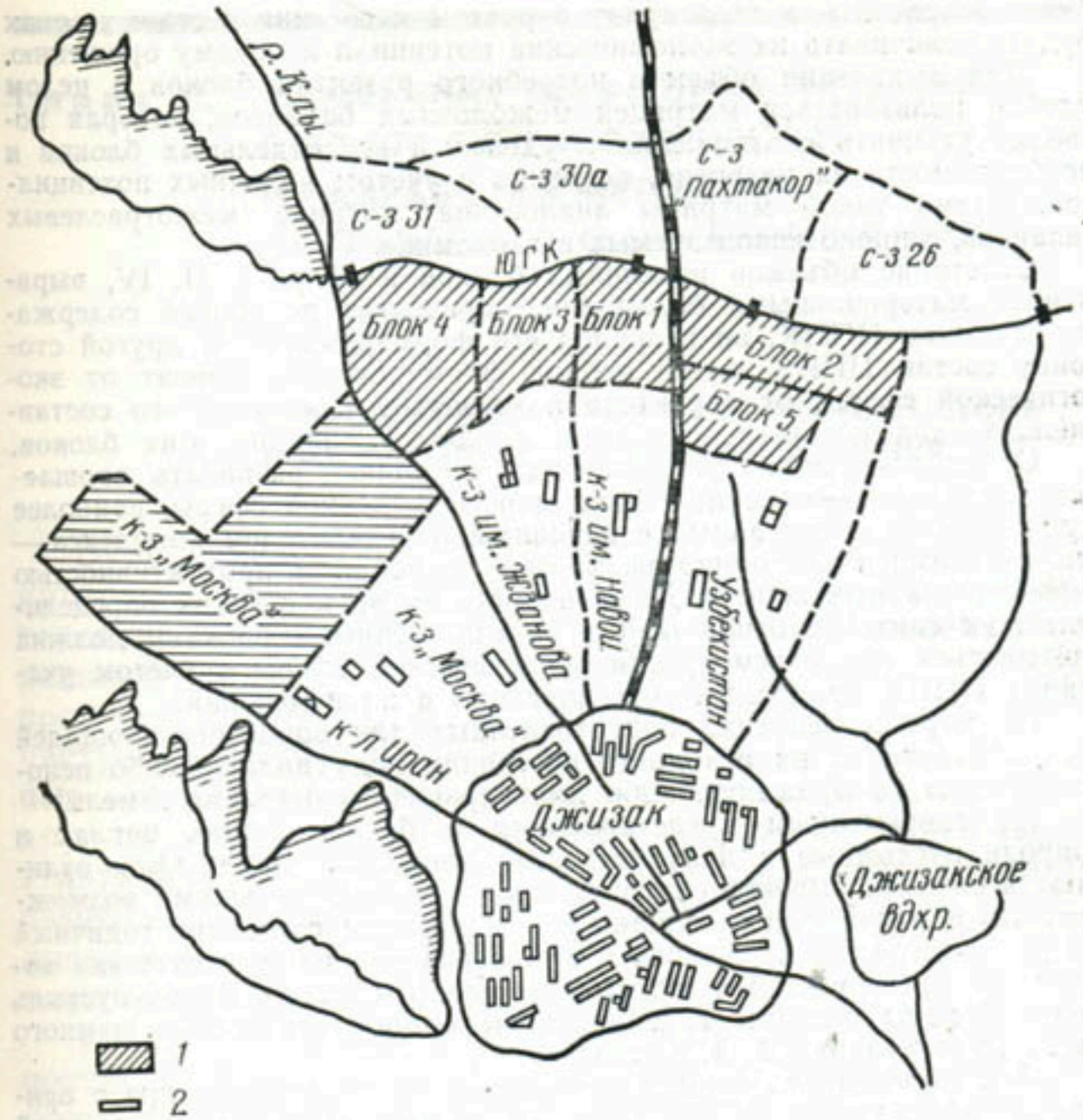


Рис. 15. Схема освоения земель Джизакского веера и блоков силами колхозов:

1 — новые земли колхозов; *2* — поселки.

эффективностью (рис. 15). Использование хозяйственного и демографического потенциала существующих хозяйств в пределах зон «челночной миграции», а также экономического потенциала всего Джизакского района, имевшего достаточное развитие мощности в хозяйствах № 2, 3, 4, 5, 6, 9 при отсутствии сопряженных отраслей и относительно небольших изменений в экологической сфере, позволило при планировании ППИК ограничиться по сути блоком 1—1 и решить освоение раздельным методом с высокой эффективностью.

Такой подход очень перспективен для постепенного освоения внутриоазисных перелогов в целом ряде сильноразвитых старых районов орошения и поэтапного расширения орошаемых земель рядом с густонаселенными зонами, испытывающими торможение развития из-за недостаточного объема сельскохозяйственного производства. Следует отметить, что по мере развития технического уровня сельскохозяйственного производства оптимальные размеры хозяйств

будут возрастать, и это наряду с ростом населения в старых зонах будет увеличивать их экономический потенциал к новому орошению.

Для выявления объемов потребного развития блоков в целом удобно пользоваться матрицей межблочных балансов, которая позволит уточнить соотношения и удельный вес отдельных блоков и необходимость их развития, особенно с учетом наличных потенциалов. Схема такой матрицы аналогична матрице межотраслевых балансов, широко используемых в экономике.

Сочетание объемов различных блоков в сфере I, II, IV, выраженное материальными балансами, определяет не только содержание и состав ППИК, но и период его формирования. С другой стороны, состав ППИК и его период формирования зависят от экологической сферы, от характера и масштаба изменения его составляющих, для которых основными являются влияния этих блоков.

Отбор природного ресурса воды позволяет развивать орошаемое земледелие — основной блок производственной сферы, наиболее тесно и активно связанный с основным определителем комплекса — изменяющимися постоянно размерами площади и продуктивностью вновь орошаемых земель. Динамичность во времени этих определителей, их связей с основными производственными блоками должна учитываться при рассмотрении экологической сферы с учетом участия в ППИК природных составляющих и их изменения.

По мере расширения подготовленных для орошения площадей в зависимости от их исходного состояния воду подают либо непосредственно на орошение, либо для первичного освоения земель.

По современным представлениям о биохимических циклах в природе пустынные и полупустынные природные ландшафты отличаются самыми высокими потенциальными энергетическими возможностями и плодородием, однако в естественном состоянии годичный оборот минеральных веществ в них ограничен из-за отсутствия воды и не превышает 500 кг/га. В условиях пустынь и полупустынь аридной зоны созданы агробиоценозы с продуктивностью намного выше естественной (В. А. Ковда).

При определении «линии поведения» по взаимодействию с природной обстановкой ППИК мы должны четко исходить из позиций долговременности и в определенной степени постоянства новых природно-антропогенных отношений.

Природопользование требует внимательного отношения к формам и проявлению вмешательства человека в природу.

С этой точки зрения мелиорации в целом и создание ППИК в частности и являются той антропогенной деятельностью, которая должна усиливать биологическую продуктивность почв и одновременно активно исправлять определенные естественные недостатки.

Здесь в качестве основного подхода и оценки направленности может быть взят анализ естественных биогеохимических циклов.

Формируя ППИК, мы видим задачу в управлении направленным изменением малых территориальных биогеохимических циклов, функционирующих в пределах новых антропогенных ландшафтов — отдельных орошаемых массивов, до состояния их стабилизации в нарушенном режиме и как бы смыкании его при новых скоростях обращения. В бассейновых циклах в связи с постоянной динамикой водозаборов и переносом масс не может идти речи о полной стабилизации; здесь можно говорить лишь о минимизации воздействия малых циклов на большой бассейновый круговорот влаги и минеральных веществ.

Глава III. ИЗМЕНЕНИЕ ПРИРОДНЫХ УСЛОВИЙ ПОД ВЛИЯНИЕМ ОРОШЕНИЯ И РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ НАПРАВЛЕННОГО УПРАВЛЕНИЯ ИМИ

АНТРОПОГЕННЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ РЕЧНОГО СТОКА И ИХ ОСОБЕННОСТИ В ЗОНЕ ОРОШЕНИЯ

Бурное развитие производительных сил общества привело к резко возросшим масштабам взаимодействия человека и природы, особенно со второй четверти нынешнего столетия. Влияние человека на гидрологические процессы проявляется достаточно интенсивно, хотя зачастую разнообразно и неоднозначно, при этом различные первичные и вторичные влияния, накладываясь друг на друга, приводят иногда к противоположным результатам. Тем не менее закономерности в антропогенных изменениях стока могут быть достаточно четко прослежены и определены, если подходить к ним путем аналитического расчленения на элементарные процессы.

Интенсивное развитие земледелия на территории европейской части РСФСР привело к сокращению поверхностного стока с пашни по сравнению с 20 годами нынешнего столетия на 32%. Это снижение совместно с другими явлениями привело к уменьшению годового речного стока на 1% (табл. 22) (М. И. Львович, Н. И. Коронкевич).

Основные причины возможности большого сокращения поверхностного и отсюда речного стока — развитие повсеместного снегозадержания с доведением его до 100% в степной зоне, 80...90% в лесостепи и 50% в лесной зоне; резкое улучшение структуры почвы благодаря интенсификации и повышению уровня земледелия; повышение биологической продуктивности земель и вызванного этим увеличения водопотребления, в частности транспирации культурных растений.

Увеличение инфильтрационного питания почвогрунтов обязательно приводит к соответственному увеличению притока в подземные и грунтовые воды, который

22. Изменение поверхностного стока с площади пашни и годового речного стока под влиянием земледелия

Зона	Современное состояние			Перспектива (20...50 лет)		
	уменьшение поверхностного стока	уменьшение речного стока		уменьшение поверхностного стока	уменьшение речного стока	
	%	%	км³	%	%	км³
Европейская территория страны	32	1	11,3	40...80	1...3	12,5...24,0
В том числе бассейны:						
Днепра	20	2	1,1	25...75	3...5	1,5...2,5
Дона	40	12	3,5	50...95	17...25	5,0...8,0
Волги	28	2	4,3	35...75	2...5	5,0...9,0
СССР	38	1	15,0	45...80	1	18,0...32,0

является чаще всего одним из основных приходных статей водного баланса рек.

Более существенное влияние на величину годового стока рек и его режим оказывает осушение земель. Создание устойчиво работающей и правильно запроектированной сети дренажа приводит к сработке вековых запасов грунтовых вод, что вызывает сначала увеличение стока, затем снижает непродуктивное испарение, что также положительно влияет на сток, но потом благодаря постоянному поддержанию уровня воды на водосборе ниже, чем ранее, уменьшению напора над реками дренированием сток заметно снижается.

В Белоруссии сработка вековых запасов подземных вод на 1% осушенной территории составляет 7,2 мм в год, что привело к увеличению речного стока в Нечерноземье на 0,5...1%, в бассейне реки Днепра — на 2...3%. В дальнейшем ожидается уменьшение стока от 1...2% до 4...6% в год.

Оценивая эти показатели, мы должны исходить из того, что площадь осушаемых земель в целом по стране, видимо, станет довольно ограниченной. Из 80 млн. га переувлажненных земель уже осушено 16 млн. га, в ближайшем будущем будет осушено еще 15...20 млн. га. В результате уменьшения испарения можно ожидать соответствующей компенсации снижения приточности. Ви-

димо, таких значительных изменений объема стока здесь происходить не будет. Тем не менее необходимо учитывать резкое увеличение паводкового стока, так как интенсивность освобождения зоны аэрации от лишних вод происходит очень быстро.

Отмечены существенное изменение в стоке рек, формирующихся в степной и лесостепной зонах (река Дон), и значительно меньший диапазон изменений в лесной и болотной зонах.

Для рек, используемых на орошение, но формирующих сток в зонах лесов, болот, лесостепей, типичных для полузасушливых территорий Советского Союза, характерно, как правило, более интенсивное изменение стока под влиянием антропогенной деятельности непосредственно в зонах формирования и несколько менее в зонах транзита.

Совершенно другой характер носит изменение стока рек в аридной зоне. Реки здесь, зарождаясь в зонах формирования стока, в основном не подверженных антропогенным воздействиям или слабо подверженных, далее проходят по территориям, являющимся полем интенсивной деятельности человека, значительно изменяясь как по характеру стока (режиму, качеству), так и по его величине. В так называемых зонах транзита здесь главнейшими приходными составляющими руслового баланса являются подземные воды, определяющие русловую приточность к стволу, а также возвратные воды с орошаемой территории, включая коллекторно-дренажные и сбросные. В то же время расходные статьи руслового баланса целиком и полностью будут определяться величиной водозабора на орошение и другие нужды, а также изменениями путем регулирования стока. Последнее создает целый ряд дополнительных непродуктивных потерь стока (испарение из чаши водохранилищ и его мелководий или осушенного дна, увеличение фильтрационных потерь из них), в то же время изменяет и ранее имевшие место потери. Так, превращение русла в цепь водохранилищ, которые предотвращают паводковые расходы и ограничивают максимальные попуски, позволяет резко сузить рабочую пойму реки, ограничившись определенным размером русловой части. В результате можно значительно снизить объем непродуктивного испарения из стариц, плавней, мелководий и т. д. В то же время уменьшение диапазона колебаний уровней во-

ды в реках приводит к ограничению как фильтрационного оттока от реки в случае подпитывающего характера взаимодействия реки и водозабора, так и увеличения притока в реку в зонах выклинивания. Существенны изменения уровней грунтовых вод под влиянием орошения и интенсивного дренирования.

Характер взаимодействия развивающегося орошения с руслом реки, определяющего изменение ее стока, зависит не только от площади и масштаба водозабора на орошение, но и от вида культуры, техники полива, режима орошения, степени и типа дренированности территории, а также степени совершенства оросительной системы. Каждый из этих элементов существенно влияет на формирование возвратных вод, величину водозабора, минерализацию возврата, а стало быть, на основные характеристики динамики водохозяйственного баланса по стволу реки.

Особое значение для гидрологических процессов имеет урбанизация территории. По расчетам В. В. Куприянова (1977), площадь городов достигнет в СССР к концу века 0,75% территории страны, а общая площадь поселений превысит 1%, в том числе в бассейнах рек Днепра, Дона, Волги — 2...4%. В городских и городского типа поселениях коэффициент стока составляет в холодное время 0,8 в лесной зоне, 0,75 в лесостепной и 0,7 в степной, а летом в 1,2...1,5 раза меньше. В целом на водосборах урбанизация приводит к уменьшению подземного питания вследствие снижения инфильтрации и к росту поверхностного стока вследствие увеличения водонепроницаемых площадей.

На орошаемых территориях вообще и в аридной зоне в особенности наблюдаются несколько другие явления при увеличении городской застройки. Застройка без дренажа, особенно при неглубоком залегании уровня грунтовых вод, уменьшает испарение, а следовательно, приводит к подъему их уровня, проявляющееся наиболее резко при усилении орошения в городах и поселках, так как, кроме обычного орошения зеленых насаждений и приусадебных участков, здесь многократно увеличивается полив в целях освежения. При отсутствии дренажа происходит подъем уровня грунтовых вод и усиление питания русл рек. Затем при снятии дренажем уровня грунтовых вод происходит подпитка русла уже не подземным, а дренажным стоком.

Городские агломерации и особо расположенные в них или при них промышленные комплексы резко влияют на качество воды в реках из-за сбросов из очистных сооружений или минуя их.

Исследуя процессы изменения стока рек под влиянием деятельности человека, М. И. Львович совершенно справедливо отмечал, что изменение гидрологических процессов является следствием изменения определяющих его природных явлений — климатических (осадков и испаряемости), гидрогеологических (уровня, характера питания и минерализации грунтовых и подземных вод) и почвенных. Почвенному покрову он уделял особое внимание как посреднику между метеорологическими условиями и рекой с ее режимом.

Исходя из этих предпосылок, развивая работы Э. М. Ольдекопа и В. Г. Андреянова, В. И. Бабкин предложил анализировать суммарное изменение стока речных бассейнов, используя водные балансы водосборной площади для трех зон — поверхностной, аэрации и насыщения. В каждом из этих балансов активную роль играют климатические параметры, испарение поверхностной влаги, испарение из зоны аэрации и из грунтовых вод, взаимодействие между зоной аэрации и грунтовыми водами и подземный водообмен (Бабкин, Вуглинский, 1982).

Исходя из имеющихся данных для зон гумидной и неустойчивого увлажнения мы уверенно можем отметить, что здесь под влиянием антропогенной деятельности, включая мелиорации, не происходит существенного изменения климата, грунтовых, подземных и других вод, интенсивно определяющих гидрологические характеристики бассейнов.

В аридной и полуаридной зонах орошение воздействует не только непосредственно на сток рек в виде отбора и сброса вод, но и на многие факторы, определяющие гидрологические особенности бассейна, и тем самым формирует более сложные связи между площадью бассейна и рекой, чем в других территориях. Особо проявляются эти изменения при развитии крупномасштабного орошения интенсивными темпами.

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ОРОШЕНИЯ С ПРИРОДНЫМИ УСЛОВИЯМИ В АРИДНОЙ ЗОНЕ

Территориальное воздействие, оказываемое на площади развитого или развивающегося природно-производственного комплекса как нижней ступени ВХК, распространяется и на самой площади возникновения и за его пределами. Последнее относится лишь к климатическим явлениям, но в основном, как было указано выше, ограничивается бассейновыми границами.

Для того чтобы разобраться в сложной системе их взаимодействия, мы представили природную часть ВХК в виде его составляющих блоков, подразделив их на элементарные факторы и явления.

В общем построении основными воздействующими факторами являются составляющие блоки: орошение (1), дренаж (2) и побочные антропогенные явления (3), связанные между собой и в то же время вместе и порознь оказывающие влияние на естественные природные блоки.

Составляющие этих воздействий следующие.

Орошение: 1.1 — транспирация и испарение (включая промывки); 1.2 — глубинное просачивание на поле; 1.3 — потери в сети (фильтрация из каналов); 1.4 — поверхностные сбросы.

Дренаж: 2.1 — глубина; 2.2 — интенсивность; 2.3 — объем дренажного стока; 2.4 — минерализация стока.

Побочные влияния орошения: 3.1 — развитие селитебной части; 3.2 — интенсификация сельскохозяйственного производства; 3.2.1 — удобрения и химмелиоранты; 3.2.2 — пестициды и гербициды; 3.2.3 — промышленные предприятия; 3.2.4 — обработка почв; 3.2.5 — развитие животноводства.

Показанные здесь блоки бассейновой экосистемы представлены не полностью, так как поставлена задача определить изменения основных элементов экосистемы, специфических для пустынных и полупустынных ландшафтов аридной зоны, изменяющейся под действием орошения и дренажа. Исключены биогенные выделения, сопутствующие организмы, конкурирующие организмы, химрегуляторы как не определяющие основные пути развития агроэкосистемы в процессе перехода ландшафтов от пустыни к орошению и изменения которых не

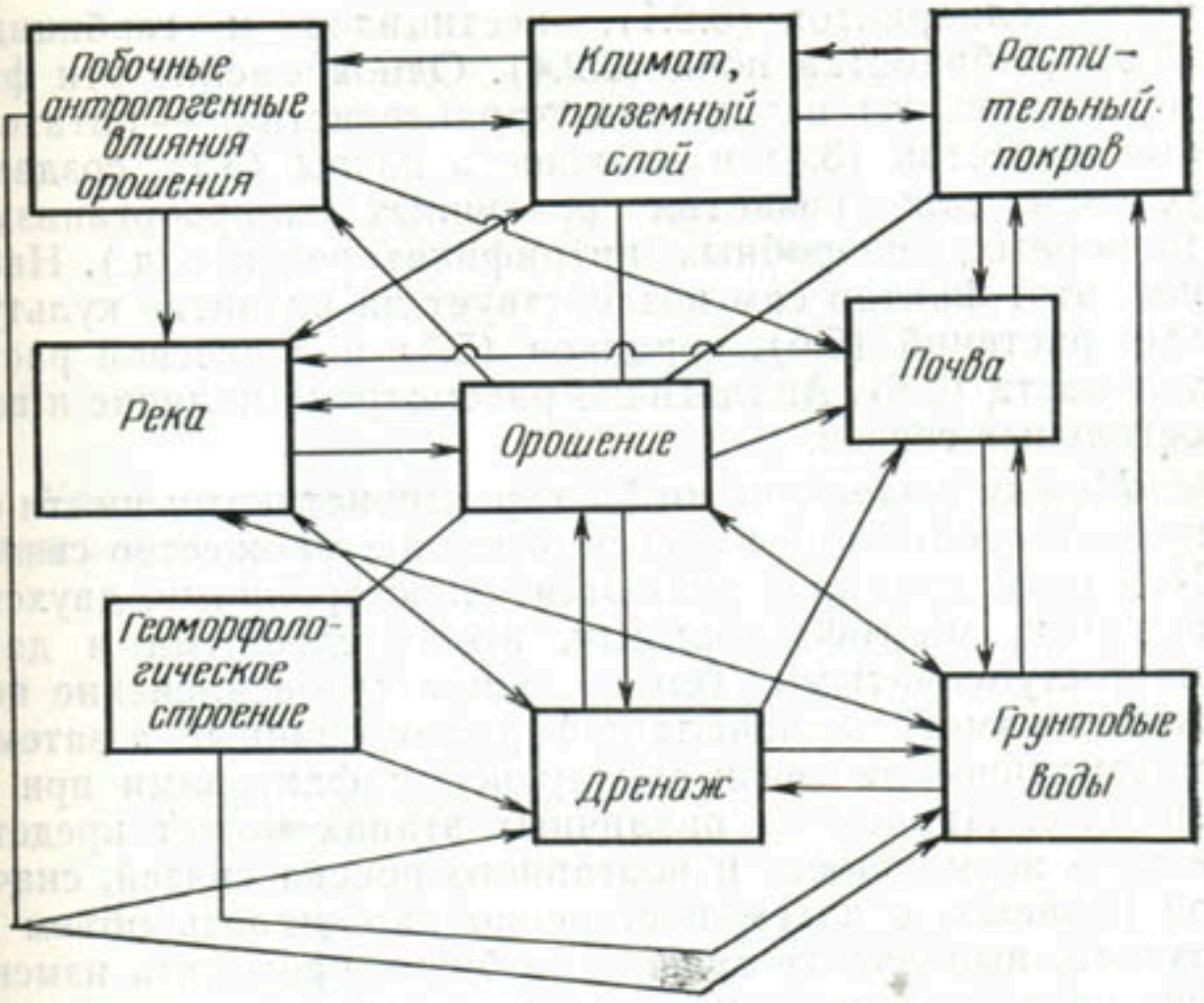


Рис. 16. Схема связей в природной части ВХК при орошении.

должны обязательно учитываться при проектировании и осуществлении переходных процессов орошения.

В основу схемы взаимодействия оросительных мелиораций и природных субстанций в составе ВХК принято члененное взаимодействие элементов орошения и дренажа, а также их побочных явлений на почву, приземный слой атмосферы, растительный покров, геоморфологическое строение, грунтовые воды и реку. Проследим систему взаимодействия связей, представленную на рисунке 16.

На схеме приведены основные составляющие характеристики каждой субстанции. Слева приведены все воздействия, влияющие из внешних блоков, справа — внутри самого блока, а далее воздействия, являющиеся результатами изменения или влияния данной характеристики.

Например, на развитие микроорганизмов в почве (7.11) влияют: из внешних факторов — орошение в результате испарения (1.1), глубокого просачивания (1.2), сброс (1.4), а также побочные явления в виде удобрений

и химмелиорантов (3.2.1), пестицидов и гербицидов (3.2.2), обработка почв (3.2.4). Одновременно эти факторы изменяют внутренние характеристики — питательные вещества (3.8) и влажность почвы (3.1), создавая условия для развития различных микроорганизмов (аэробных, анаэробных, нитрификаторов и т. д.). Наконец, этот фактор сам воздействует на развитие культурных растений (5.6), сорняков (5.7) и древесной растительности (5.8). Аналогично рассмотрено наличие и всех остальных связей.

Между выделенными 56 характеристиками шести основных субстанций имеется огромное множество связей. При этом эти связи являются односторонними, двухсторонними, многофакторными, второстепенными и даже многоступенчатыми. Тем не менее такое членение позволяет наметить сначала неформализованные, а затем и математические связи между всеми факторами при их анализе. Причем на различных этапах может представиться возможность и поэтапного поиска связей, сначала главных, а затем постепенно наращивать объем их охвата, выделяя те связи, где будут проходить изменения природных условий, требующие учета.

Многочисленность характеристик составляющих субблоков и их огромный набор связей, даже главных, создают необходимость для выявления основных из них рассмотреть детальные уравнения водных балансов зоны аэрации и грунтовых вод, а также солевого баланса зоны аэрации и грунтовых вод.

Водный баланс зоны аэрации представлен в виде удовлетворения измененного общего водопотребления. Общее водопотребление независимо от источников его обеспечения рассматривается как сумма оросительного, покрывающего потребность почвы в испарении (с обрабатываемых и необрабатываемых территорий) и транспирации (суммарном водопотреблении), и промывного, которое регулирует необходимый солевой режим почвогрунтов. Покрытие этого водопотребления с возможными элементами его удовлетворения в пределах зоны аэрации и ее обмена с грунтовыми водами выглядит так:

$$\sum_{i=1}^{F}\sum_{j=1}^{n}(E_{\text{т}}+U)_{ji}f_{ij}+\sum_{i=1}^{F_s}M_i(s)+\sum_{i=1}^{F_n}U_{ni}f_n=$$

$$= \sum_{i=1}^{F} Ocf_i + \sum_{i=1}^{F} Op\eta_c (\eta_{mn} + \alpha_2'').$$

$$f_i - \sum_{i=1}^{F} \sum_{j=1}^{n} (E_т + U)_{rji} f_{ij} + \sum_{к=1}^{L} Q_к (l) +$$

$$+ \sum_{c=1}^{S} Q_{сбр} (l) \pm \sum_{i=1}^{F} \Delta\theta_i f. \qquad (13)$$

Уравнение баланса грунтовых вод при этом определяется как

$$\sum_{i=1}^{F} (E_m + U)_{r_i} f_i + Oc \sum_{i=1}^{F} (1 - \alpha)_i f_i +$$

$$+ Op \sum_{i=1}^{F} [(1 - \eta_c)\, d_1'' + \eta_c (1 - \eta_{mn})\, d_2''] f_i =$$

$$= \sum_{i=1}^{F} (\underline{П} - \underline{О}) f_i + D = \sum_{i=1}^{F} \mu \Delta h_{r_i} f_i. \qquad (14)$$

В зависимости от сочетания дренажа и орошения эти два баланса связаны с определением и динамикой водопотребления. При этом целый ряд составляющих и факторов их, указанных на рисунках 17, 18, 19, являются еще и функциями времени.

Здесь и далее приняты следующие условные обозначения: $(E_m+U)_{ji}$ — транспирация и физическое испарение (суммарное водопотребление) любой культуры «j» на участке «i»; $(F_m+U)_o$ — максимальное суммарное водопотребление; $(E_m+U)_r$ — транспирация и испарение из грунтовых вод; $U_п$ — испарение с перелогов; M_{ξ} — промывное водопотребление; O_c — осадки; α — их доля, проникающая до грунтовых вод; θ, θ_0, $\theta_{вз}$, $\theta_{ППВ}$ — влажность почвы текущая, начальная, завядания и предельная полевая; O_p — оросительная норма; η_c; η_{mn} — КПД системы и техники полива; d_1'; d_1''; d_1''' — их доли, соответственно приходящиеся на испарение, а d_2', d_2'', d_2''' — на фильтрацию и сброс; $(\underline{П}-\underline{О})$ — приток-отток подземных вод; D — дренажный сток, h_r, Δh_r — уровень грунтовых вод и его изменение; μ — коэффициент насыщения; R — радиационный баланс; $\underline{F}_л$ — площадь листовой поверхности; δ — глубина корневой зоны; ω — скорость ветра; r — относительная влажность воздуха; $t°$, $t°_s$ — температура воздуха и почвы; $h_к$ — высота капиллярного поднятия; $C_{ос}$, $C_{ор}$, $C_{др}$, $C_{сбр}$ — минерализация осадков, оросительных, дренажных и сбросных вод; $S_{ур}$ — вынос солей с урожаем; S_0 и $S_к$ — содержание солей в почве начальное и конечное; $Q_{сбр}$, $Q_к$ — расходы сбросных и коллекторных вод, используемых на

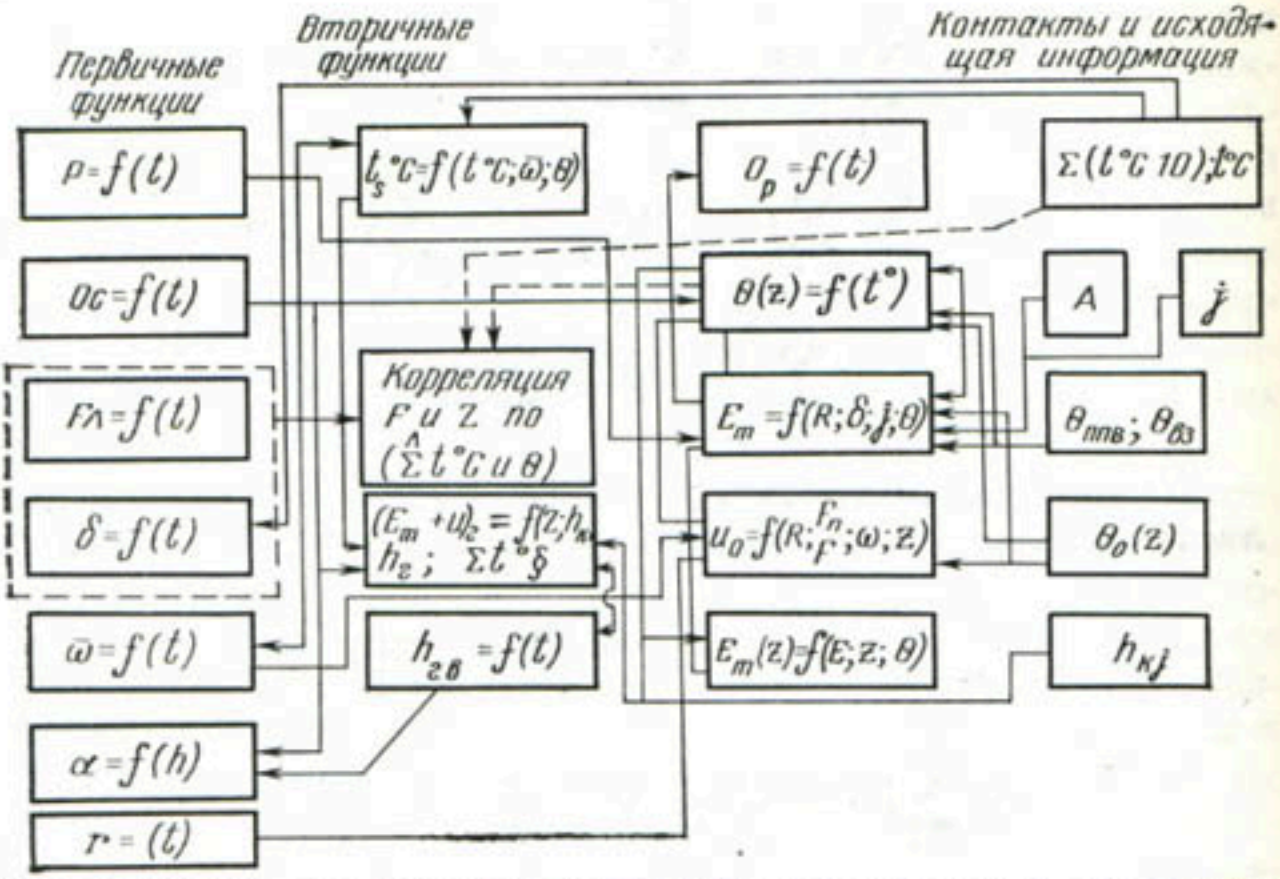


Рис. 17. Основные связи субстанций определяющих водопотребление орошаемого поля.

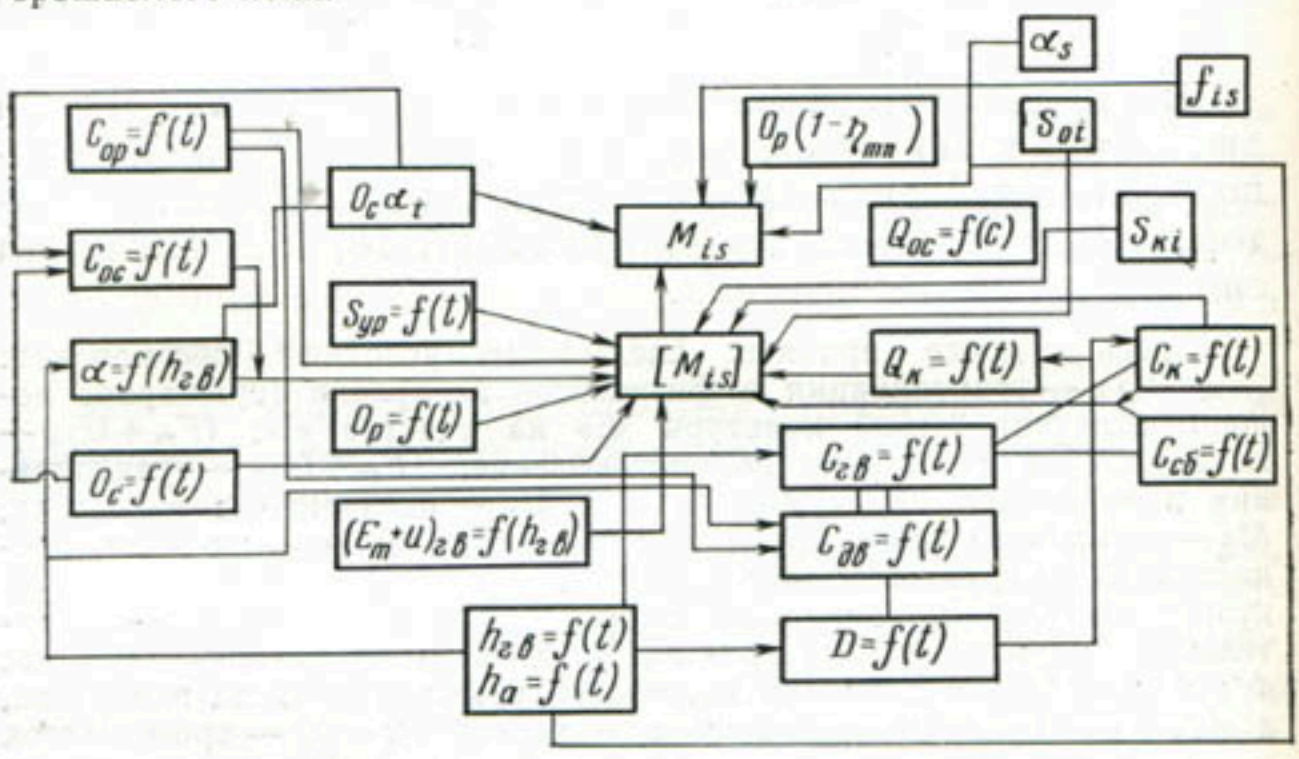


Рис. 18. Основные связи субстанций по солевому режиму орошаемого поля.

орошение; f_i, f_n — единичная орошаемая площадь и площадь перелогов; $N_{др}$ — интенсивность дренажа.

В этих балансах и схемах выделены основные элементы территориальных и бассейновых биогеоценозов, изменяемых под влиянием ВХК в зоне орошения.

Эти параметры и характеристики могут быть сведены к следующим:

климат — температура, влажность воздуха, скорость ветра, радиационный баланс (суммарная радиация, осадки и их минерализация на обозримом временном этапе рассматриваются как неизменные под влиянием орошения);

растительный покров — состав, корневая система и листовая поверхность;

грунтовые воды — глубина, минерализация, испарение из них, напорность;

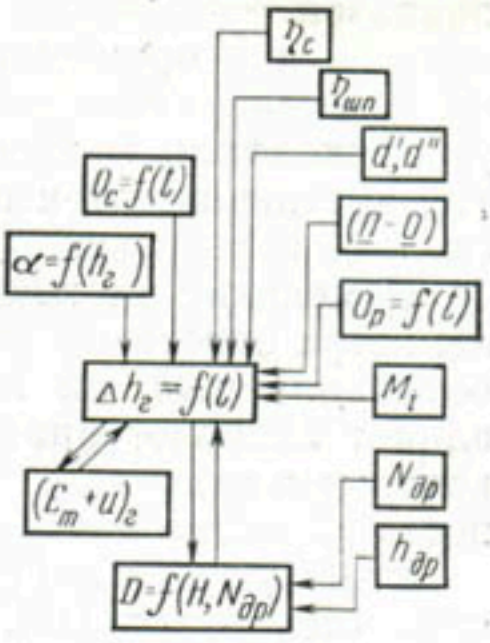


Рис. 19. Схема связей баланса грунтовых вод.

почва — влажность, засоление, фильтрационные свойства, механический состав, плотность, питательные вещества, микроорганизмы (капиллярные свойства как неизменные);

геологическое строение — дренированность естественная, коэффициент фильтрации, содержание напорных вод, изменение водно-физических свойств грунтов;

река — объем, режим и минерализация речного стока, располагаемые ресурсы, объем и минерализация возвратных вод, содержание наносов.

Учитывая цели, сформулированные перед экологической сферой при управлении изменениями природной среды, необходимо приведенные выше условия систематизировать.

Исходя из связи «мелиоративное воздействие — параметры среды», все изменения подразделены на стабильные и нестабильные, управляемые и слабоуправляемые.

В. А. Ковда указывает, что управление экосистемами с помощью мелиораций требует многостороннего воздействия на природный ландшафт. При этом необходимо исходить из того, что под их действием изменения природных условий могут происходить как в ограниченном диапазоне, так и в разнообразных поле и направлении. Первые (климат, характер изменения растительности, влажность зоны аэрации и т. д.) под влиянием орошения всегда изменяются в одном направлении; обычно состав мелиоративных мероприятий здесь влияет на

диапазон отклонений от направленности процесса. Например, при орошении влажность воздуха увеличивается, а температура уменьшается, радиационный баланс увеличивается. В зависимости от характера мероприятий интенсивность и величина этих изменений могут несколько колебаться.

Изменение влажности зоны аэрации, уменьшение силы ветра относим к стабильным, подразделяя их на слабоуправляемые, на характер изменения которых мало влияет антропогенная деятельность, и управляемые, на которые в значительной степени может влиять интенсивность развития процесса.

Стабильные слабоуправляемые изменения можно, пользуясь методикой, предложенной В. В. Шабановым (1982), выразить в виде условно детерминированного вектора s:

$$\frac{ds}{dt} = k_c f(t) \Big|_{\varphi_1}^{\varphi_2}, \tag{15}$$

где k_c — показатель саморегулирования; $f(t)$ — стабильная функция от времени t в диапазоне действия φ_1 до φ_2.

Для стабильных управляемых изменений векторная функция выразится как

$$\frac{ds}{d\varphi} = k_c s(\varphi - \varphi_{opt}). \tag{16}$$

Изменения, происходящие в достаточно широком диапазоне и даже в различных направлениях, относим к нестабильным. Их можно уподобить изменяющимся сложным системам, где под влиянием каждого действия может быть одна реакция, но суммарная направленность общих трансформаций зависит от сочетания суммы воздействий, векторная направленность которых может быть совершенно различна. Это хорошо видно на примере почвы, для которой, как подчеркивает В. А. Ковда, только сложный и дифференцированный состав периодически наблюдаемых и капитальных мероприятий, а не только подача воды может привести к необходимому направленному изменению почв и обеспечению высокой устойчивости их продуктивности. Иными словами, только суммарное сложение единичных векторов необходимой величины и направленности может дать суммарное направление вектора изменений таких природных условий, которые являются управляемыми, и на их

должно быть направлено основное внимание проектных и освоенческих организаций.

Выражение нестабильных изменений в векторном плане может быть представлено следующим образом.

Из множества воздействующих векторов $\in\bar{\varphi}^{j}_{1t}$; $\bar{\varphi}^{i}_{2t}$, .., $\tilde{\varphi}^{l}_{nt}$ необходимо выбрать значения φ_{1t}; $\varphi_{2t}, \ldots, \varphi_{nt}$, соответствующие определенным значениям функционала Φ от $j, i, \ldots, l$

$$\sum_{t=1}^{T} s\,(\bar{\varphi}_{1t};\ \varphi_{2t}, \ldots, \varphi_{nt}) = \Phi\,(j; i, \ldots, l) \leqslant [\Pi]_{P_{\min}}^{P_{\max}}, \qquad (17)$$

чтобы получить измененные природные условия (Π) в диапазоне пределов от $P_{\min}$ до $P_{\max}$.

23. Виды взаимодействия орошения с различными природными условиями

Вид изменения природных условий	Наименование изменения природных условий	Воздействие	
		положительное	отрицательное
Стабильные слабоуправляемые	Изменение климата	+	
То же	Изменение характера растительности	+	
»	Изменение микроорганизмов	+	
»	Изменение животного мира	+	—
Стабильные управляемые	Снижение силы ветра	+	
То же	Изменение микроклимата	+	
»	Изменение стока рек	+	—
»	Снижение непродуктивного испарения	+	
Нестабильные управляемые	Изменение почвенного покрова	+	
То же	Изменение уровня и режима грунтовых вод	+	—
»	Изменение минерализации грунтовых вод	+	—
»	Изменение влажности зоны аэрации	+	—
»	Изменение минерализации речной воды		—
»	Изменение воднофизических свойств почвогрунтов	+	—
»	Изменение запасов солей в зоне аэрации	+	—
»	Эрозия склонов		—

Исходя из достигнутого на сегодняшний день уровня познаний и выделенных основных изменяющихся параметров можно систематизировать указанные изменения (табл. 23).

Для определения характера и периода стабилизации всех этих изменений необходимо проанализировать их по видам.

Большинство слабоуправляемых стабильных изменений являются положительными: скудная дикая растительность сменяется культурной, кое-где на неосваиваемых землях вдоль каналов появляются влаголюбивые растения, исчезают термиты, москиты и т. д. Учитывая их специальный характер, отметим, что период их стабилизации обычно протекает за 3...5 лет.

ИЗМЕНЕНИЕ КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ПРИ ОРОШЕНИИ

В связи с увеличением влажности почвы происходит перераспределение элементов теплового баланса между собой за счет изменения альбедо, теплопотока в почву и испарения. Это вызывает повышение влажности воздуха в течение года и особенно в летний период, изменение радиационного баланса, снижение температуры. При орошении резко возрастают испарения и затраты тепла, что снижает температуру земной поверхности. При устойчивом увлажнении температура почвы становится меньше температуры воздуха.

В результате исследования изменения микроклимата орошаемых полей по сравнению с богарой установлены (С. И. Харченко) в диапазоне температур 5...35 °С зависимость сравнительной температуры орошаемого поля t_o и богары $t_б$, которая приемлема и в других условиях поверхностного орошения:

$$t_o = 0{,}95t_б \pm 0{,}5. \qquad (18)$$

На основании наблюдений за изменением составляющих радиационного, теплового баланса и климатических параметров на территории Каршинской и Голодной степей для определения путей учета их изменений в переходный период можно сделать следующие выводы (1974).

1. Все основные изменения климатических факторов происходят в первые три-четыре года после начала орошения массива.

2. Уменьшение среднемесячной температуры «целина — орошаемое поле», по данным срочных наблюдений гидрометслужбы, составляют 1,2...2,8 °С. В то же время сравнение непосредственных наблюдений «целина — хлопок» в Каршинской степи показывает уменьшение среднемесячной температуры с 2 до 5,3 °С, в Голодной степи — с 1,5 до 4,1 °С, особенно в июле — сентябре.

3. Если на целине в летний период температура воздуха на высоте 0,5 м выше, чем на высоте 2 м, на 0,5... 1,2 °С, то при орошении с мая временами, а с июня постоянно происходит переход к инверсии в дневные часы суток. После каждого полива температура снижается на 2...4,5 °С в слое воздуха 0,5 м, менее проявляясь в слое 2 м. Основные температурные изменения происходят за два года и совпадают с рекомендацией С. И. Харченко.

4. Влажность приземного слоя в процессе орошения сильно изменяется вследствие развития транспирации и резкого увеличения испарения.

5. Относительная влажность воздуха по регистрационным точкам гидрометслужбы дает в вегетационный период отклонения при сравнении «целина — орошаемое поле хлопчатника» на 25...30% с максимумом среднемесячной разницы 11...12%. В то же время сопоставление одновременных наблюдений в совхозе № 9 на старооро-шаемом массиве и в совхозе № 25 на целине показывает разницу влажности в 25...34% (или на 180...260% относительной величины). При этом, если на целине влажность на высоте 0,5 м меньше, чем на высоте 2 м, то в оазисе наблюдается обратное явление.

В Голодной степи изменение влажности в связи с большой исходной величиной возрастает за период освоения в среднем на 40...60%, при этом в первый год на 15...20%, во второй — на 14...19, в третий — на 8...10%.

Влажность в мае определяется в основном погодными условиями, а в остальные месяцы (особенно в июле-сентябре) резко изменяется под влиянием орошения.

6. Изменение влажности по годам переходного периода r_t от исходной r_0 до оазиса r хорошо описывается кривой для поверхностного полива

$$\frac{r_t - r_0}{r - r_0} = 0{,}32t - 0{,}023t^2 \text{ при } n = 0{,}89; \quad 0 \leqslant t \leqslant 5; \qquad (19)$$

в диапазоне от 0 до 5 лет (переходный период).

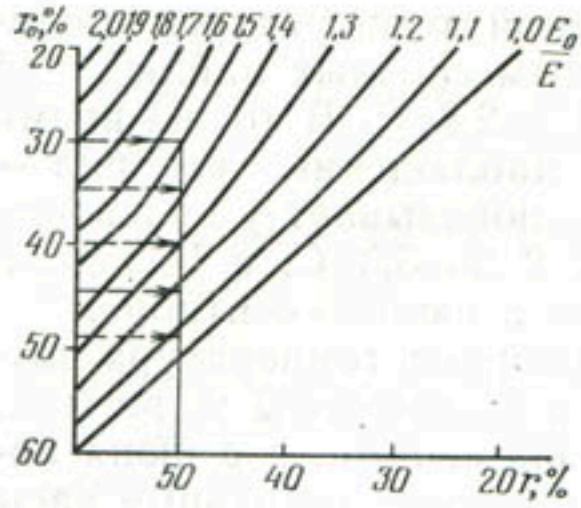


Рис. 20. Зависимость $E_0/E = f(r_0/r)$.

Анализ изменения влажности позволяет оценить динамику испаряемости в переходный период как критерия оценки испарения. Анализ данных по Голодной и Каршинской степям показывает, что испаряемость при переходе от целины к оазису снижается значительно, но только в отдельные месяцы (апрель — июль). Так, при небольшой разнице температур ($\pm 1{,}6$... 2,2 °С) относительная влажность в эти месяцы может отличаться между целиной и оазисом на 21% и более. Это дает переходный коэффициент от целины к оазису от 1,3 и более. Далее, в периоды освоения, разница сглаживается.

Поэтому целесообразнее определить переходный коэффициент для различных месяцев в зависимости от исходной влажности воздуха на целине по отношению к оазису. Автором этот коэффициент взят как обратный, так как обычно метеорологические данные по испаряемости хорошо изучены для орошаемого массива, где имеется густая метеорологическая сеть, а по целине, которая предполагается к освоению, имеются лишь отдельные данные по изменению температур и относительной влажности воздуха.

Расчеты показали небольшую изменчивость и влияние на испаряемость изменения температуры в условиях оазиса и перехода от пустыни к нему (1...4,5%) и доминирующее значение изменения относительной влажности, на основе чего построен график зависимости E_0/E от отношения среднемесячной влажности в пустыне или переходном массиве к среднемесячной влажности в этот же период оазиса (r_0/r) (рис. 20). По графику, зная для оазиса среднемесячную испаряемость, можно определить искомую испаряемость не только для целины, но и для любого переходного во времени момента вегетации. При этом изменение влажности составляет от 20% в пустыне до 60% в условиях оазиса (по В. Р. Шредеру, соответственно 30 и 55%).

7. Постоянное увлажнение почвы при поливах и рас-

ход тепла на испарение приводят к уменьшению температуры почвы по отношению к целине. Сравнение метеорологических данных показывает, что в июле — октябре эта разница составляет 3,5...4 °С. В то же время непосредственные наблюдения позволяют установить, что эта разница достигает 6...16 °С.

8. Хотя изменчивость элементов теплового баланса достаточно велика, однако сравнения данных для одного и того же года (1974) наблюдений и ряда лет в Голодной и Каршинской степях показывают, что радиационный баланс (R) в среднем за год возрастает на 10... 20%, а в летние месяцы (июнь — август) в результате поливов средние декадные значения R увеличиваются на 30...70%.

Максимальный R на целине в Каршинской степи составлял 3,57 Дж/см² в 1 мин, в первый год вегетации он поднялся до 4,73 Дж/см² в 1 мин, затем еще несколько возрос. В то же время турбулентный поток претерпел значительные изменения — если на целине он всегда направлен летом от поверхности почвы в атмосферу, то после поливов он изменяет направление. В результате общее количество тепла, затраченное на испарение, становится больше радиационного баланса, превышая его на 10...22%.

Из климатических изменений динамика силы ветра относится к стабильным управляемым факторам, изменяющимся в положительную сторону.

Под действием развивающегося орошения и роста древесной растительности отмечается снижение скорости ветра приблизительно вдвое, при этом снижение происходит как бы в два этапа:

первые два-три года орошения скорость ветра уменьшается на 30...40%, а затем на 10...20% — постепенно в течение длительного периода (7...10 лет). При этом снижение силы ветра может быть выражено уравнением

$$\frac{\bar{\omega}_o}{\bar{\omega}_{op}} = A + \frac{B}{t-2} \quad (0 \leqslant t \leqslant 16), \qquad (20)$$

где $\bar{\omega}_o$, $\bar{\omega}_{op}$ — соответственно скорость ветра в пустыне и в оазисе. При развитой древесной растительности $A=0{,}915$, $B=1{,}98$; при неразвитой — $A=0{,}742$, $B=2{,}488$.

Начальное снижение скорости ветра связано с возникновением сопротивления в виде сплошного расти-

тельного покрова, который особенно снижает силу ветра в период развития листовой поверхности (июль — сентябрь), последующее снижение происходит с ростом древесной растительности, резко уменьшающей силу ветра и на больших высотах. Сила ветра увеличивает испаряемость и испарение, следовательно, необходимо его снижение для уменьшения водопотребления, уменьшения подсоса солей, снижения вредного воздействия на произрастание отдельных сельскохозяйственных культур. Однако это явление управляемое, ибо на него активно воздействует рост древесной растительности, особенно лесополос, вокруг целинных полей.

Разработанные лесомелиораторами конструкции лесных полос для степных и пустынных зон позволяют снизить скорость ветра на полях в пределах поливной карты.

Опыт совхоза «Пахтаарал», а затем устройство защитных лесополос в юго-восточной части Голодной степи (совхоз «Фархад», г. Янгиер и др.) показывает, что следует подбирать быстрорастущие породы деревьев — тополь Боле с посадкой в другие ряды более устойчивых деревьев (ясеня пенсильванского, лоха, акации белой). При этом снижается ветровая активность в зоне, равной по ширине 30...40-кратной высоте полос, до 30%.

Микроорганизмы в условиях целины имеют крайне слабое развитие (табл. 24), за исключением актиномицетов во всех горизонтах почвы. Нитрифицирующие бактерии на целине отмечаются лишь в 5-сантиметровом слое почвы, но при освоении начинают усиленно развиваться как в пахотном, так и в подпахотном горизонтах. Азотобактера почти нет, он развивается только после посевов люцерны.

Отмечается резкое уменьшение микроорганизмов на целине со снятым верхним слоем по сравнению с нетронутой целиной и, наоборот, последующее увеличение их после посевов хлопчатника, затем ячменя с люцерной, особенно с внесением минеральных и органических удобрений.

Видно это и по окислению внесенных в пахотный слой минеральных и органических удобрений. Так, при возделывании хлопчатника без снятия почвенного слоя окисление в пахотном горизонте составило 60%, в подпахотном — 23%, при снятом горизонте — 48 и 4,1% соответственно; под ячменем+люцерна без снятия почвен-

24. Изменение микробиологической активности целинных почв при освоении (по Э. Г. Вухреру)

Почва, фон, мощность слоя, см	Содержание микроорганизмов, тыс. на 1 га		Процент бактерий от общего числа микроорганизмов	
	весна	осень	весна	осень
Серо-бурые почвы:				
целина ненарушенная				
0...15	7 280	1 502	100,0	77,89
5...15	225	1 165	95,50	61,28
15...30	345	553	93,90	20,52
30...50	464	409	22,17	7,82
целина (снят верхний слой)				
0...27	396	468	95,4	10,8
27...50	622	255	58,9	16,5
естественная почва, хлопок (NP+навоз)				
0...27	2 720	349	94,11	95,7
27...50	1 664	566	98,80	99,1
естественная почва, ячмень, люцерна (NP+почва)				
0...27	7 665	515	99,06	100,0
27...50	3 112	311	95,18	99,7
Темный серозем, целина:				
0...4	1 610	2 843	28	40
4...14	2 090	4 173	95	55
14...45	879	686	64	48
45...70	531	1 174	70	50
70...105	115	100	71	28
Типичный серозем, целина:				
0...5	3 100	4 982	58	66
5...14	2 125	1 200	68	62
14...30	921	556	24	55
30...57	758	681	37	63
57...85	712	540	37	56

ного слоя — 43,2 и 8%, а при снятии — 33,6 и 6,6%. На целине активность окисления равна нулю.

Совершенно иная картина наблюдается на целинных сероземах. Здесь довольно высокая активность микроорганизмов сохраняется до глубины 70...85 см, при этом в большинстве профилей содержание бактерий составляет более 50%. Поэтому в условиях всех целинных почв с естественным плодородием, кроме сероземов, необходимо стремиться к максимуму сохранения поверхностного почвенного слоя за счет соответствующего развития поливной техники.

Комплекс и тип	Ряд (*а*—автоморфный; *г*—гидроморфный)	Приуроченность к геоморфологической зоне	Показатели механического состава, мм	
			d_{50}	d_{60}/d_{10}
Сероземы:				
обыкновенные	а	Высокая часть подгорной равнины	0,20...0,01	5...20
темные	а	Предгорья, адыры	0,20...0,01	55...20
светлые	а	Древнеаллювиальные и подгорные равнины	0,20...0,01	5...20
северные (по И. Н. Степанову)	а	Предгорья	0,20...0,01	5...20
Почвы пустынных равнин:				
такыровидные	а	Субаэральные дельты	0,05...0,006	10...30
такыровидные древнеорошаемые	а	То же	0,05...0,006	10...30
такыры	а	»	0,01...0,001	50...75
серо-бурые пустынные	а	Подгорные равнины, субаэральные долины	0,5...0,08	7...20
луговые пустынные	г	Аллювиальная долина, субаэральная долина	0,1...0,02	10...30
Почвы литоморфные				
гипсоносные	а	Подгорная и пролювиальная долина	0,15...0,01	5...20
сероземы		Понижения волнистых плато		
луговые сероземы	г	Понижения, конусы выноса	0,15...0,01	5...20
пустынно-песчаные	а	Аллювиальные и субаэральные долины	1,3...2,8	1,5...10
щебенистые	а	Подгорные долины, склоны	5...0,8	2,1...5

Засоление	Содержание в метровом слое, т/га				Водопроницаемость почв, м/сут	Показатель увлажненности $(Q_c + U_{гв})/E$
	гумус	N	P	K		
Нет	25...83	2...7,5	9,5...24	15...380	0,5...3,0	0,20...0,35
Нет	60...128	5...12	11,6...31	24...470	0,7...3,5	0,15...0,30
Хлоридно-сульфатные	20...67	1,8...7	4,2...17	6...210	0,6...3,5	0,12...0,27
Нет	12...30	3...10	6...20	18...300	0,5...3,0	0,15...0,30
Натриево-хлоридное	20...90	1,0...5,0	3...15	10...200	0,1...0,3	0,11...0,20
То же	30...110	1,5...6,0	5...18	18...280	0,2...0,5	0,07...0,15
»	18...60	0,5...3,0	1,5...6	5...130	0,05	0,07...0,20
Сульфатное	12...53	4,5...10,0	8...21	380...430	0,3...0,9	0,10...0,17
Слабое и среднее	16...82	2,0...11,0	7...18	75...240	0,1...0,5	0,18...0,35
Сульфатное	18...45	Нет данных			0,3	0,12...0,25
Сильное						
Слабое	60...120				0,2...0,6	0,30...0,55
Нет	15...80				0,8	0,05...0,15
»	18...70	6...10,5	15...22	25...80	1,2	0,10...0,28

Комплекс и тип	Ряд (*а*—автоморфный; *г*—гидроморфный)	Приуроченность к геоморфологической зоне	Показатели механического состава, мм	
			d_{50}	d_{60}/d_{10}
Почвы гидроморфные:				
болотно-луговые	г	Дельта, нижняя терраса	0,10...0,030	1,0...22
болотно-луговые обсыхающие	а	Субаэральная дельта	0,100...0,030	1...22
аллювиально-луговые	г	Аллювиальная дельта	0,15...0,050	7...20
аллювиально-лугово-тугайные	г	То же	0,05...0,010	7...20
аллювиально-болотно-луговые	г	Дельта, нижняя терраса	0,07...0,010	7...20
солончаки аллювиальные луговые	г	Аллювиальные и субаэральные долины	0,15...0,010	5...15
солончаки сазовые	а	Конусы выноса, зона выклинивания, аллювиальная долина	0,12...0,008	4...25
солончаки остаточные	г	Древнеаллювиальные, подгорные и субаэральные долины	0,15...0,008	7...20
солончаки приморские	г	Дельты, лагуны	0,07...0,005	10...45
солончаки вторичные	а(г)	Аллювиальные долины	0,12...0,008	4...25
Орошаемые почвы:				
недавно орошаемые	а	Все виды долин и межгорные понижения	0,20...0,05	3...25
оазисноорошаемые	а(г)	То же	0,20...0,05	5...25
древнеоазисные	а(г)	» »	0,45...0,10	7...20
оазисные залежные	а	» »	0,35...0,05	5...25
антропогенные бугровые	а(г)	» »	0,40...0,05	5...25
остаточные		» »	0,25...0,01	7...15

Продолжение

Засоление	Содержание в метровом слое, т/га				Водопроницаемость почв, м/сут	Показатель увлажненности $(Q_c + U_{гв})/E$
	гумус	N	P	K		
Нет	60...240	12...48	6...24	140...380	0,05...0,2	0,60...0,75
Слабое	50...210	15...65	5...19	120...310	0,2...0,6	0,30...0,55
Слабое и среднее	30...100	6...18,5	6...12	130...330	0,1...0,5	0,30...0,60
То же	50...80	6...18	3...11	85...305	0,5...1,5	0,30...0,60
»	60...150	3...15	7...15	105...360	0,3...1,0	0,30...0,60
Хлоридно-сульфатное	80...160	3...12	2...18	45...310	0,2...0,7	0,20...0,45
То же	40...105	0...12	3...12	40...280	0,1...0,7	0,30...0,55
Хлоридно-сульфатное, натриево-хлоридное	30...86	0...9	2...9	21...205	0,1...0,5	0,10...0,45
Хлоридно-сульфатное	45...62	0...11	3...12	105...310	0,1	0,20...0,65
Сульфатно-хлоридное	20...75	4...15	3...8	120...300	0,15...1,0	0,30...0,55
Разное	15...45	3...20	6...20	150...280	0,5	0,05...0,20
То же	30...0,7	6...31	9...75	160...370	0,2...0,5	0,20...0,45
»	30...120	1,5...15	11...35	80...210	0,05...0,3	0,05...0,35
»	40...70	2,1...12	8...23	55...330	0,2...1,0	0,15...0,40
»	21...65	1,8...21	3...9	140...430	0,15...0,2	0,15...0,30
»	15...45	1,1...10	1,2...7	30...105	0,4...0,9	0,05...0,50

Аридные и полуаридные зоны характеризуются значительным радиационным балансом — 210...336 кДж/см² в год, из которого в условиях естественного увлажнения на почвообразование расходуется всего 3...6%. Суммарные затраты энергии на почвообразование (Волобуев, 1974) могут быть выражены как

$$Q = Re^{-0,47\frac{1}{K_n}},$$

где K_n — коэффициент относительной увлажненности, равный отношению осадков к испаряемости $K_n = Oc/E$.

Автор предлагает под этим коэффициентом понимать отношение суммарной естественной увлажненности, включая осадки и подпитку из грунтовых вод, к испаряемости

$$K_n = \frac{O_c + U_{г.в}}{E}.$$

Если учесть, что радиационный баланс, как было показано, при орошении изменяется не более чем в 1,5... 2 раза, а основным изменениям подвергается увлажненность, которая увеличивается от 0,07...0,3 до 0,8...1,1 раза, то очевидно значительное (в 3...5 раз) возрастание и энергии почвообразования при орошении. Наряду с этим увеличивается в несколько раз объем фитомассы растительного слоя и, как уже указывалось, интенсивнее развитие микроорганизмов. Таким образом, увеличение увлажнения в сочетании с усилением биологической активности, поступление наносов, усиление обработок, внесение минеральных удобрений, улучшение условий аэрации при нормальной естественной или, где это необходимо, искусственной дренированности приводят к своеобразному развитию почвообразовательных процессов на вновь орошаемых землях.

Характеристика почв районов нового орошения в Средней Азии, в основу которой положена классификация Н. Г. Минашиной (1978), приведена в таблице 25.

Высокоплодородные почвы в естественном состоянии до орошения представлены только сероземами, а также болотно-луговыми почвами неосвоенной части поймы рек. За ними по естественному плодородию идут типичные аллювиальные почвы и луговые солончаки, отличающиеся высокой степенью засоления, но в то же время довольно высоким содержанием гумуса. Первые типы почв для своего усиленного развития не требуют особых

мероприятий в условиях орошения, обычно культуры здесь быстро набирают проектную урожайность, очень отзывчивы на фосфор и азотные удобрения, отличаются наличием больших запасов калия, хорошими водопроницаемыми свойствами. Для сероземов, особенно распространенных в подгорных долинах, на высоких речных террасах, склонах должны быть предусмотрены меры по сохранению их высокого плодородия от эрозионного разрушения, недопущению их перемещения в крупных масштабах, вскрытия на поверхности соленосных и гипсоносных малопродуктивных пластов. Такие факты отмечались при освоении земель адырной зоны в Андижанской области, в подгорной равнине Джизакского веера и Дальверзинской степи. Аллювиальные и луговые солончаки, являясь плодородными почвами, в силу недостаточного естественного оттока грунтовых вод засолились и требуют для своего усиленного освоения освобождения от избытков солей на фоне дренажа промывками. Эти промывки должны быть легкими и желательно без длительного затопления, чтобы сохранить высокое содержание гумуса в этих почвах и не нарушить благоприятную естественную структуру. Далее для таких почв важно сохранить полуавтоморфный мелиоративный режим, чтобы обеспечить сохранение питательных элементов и их пополнение в процессе орошения.

Бóльшая часть земель нового орошения — это почвы пустынных равнин: такыровидные, такырные, пустынные, песчаные и серо-бурые пустынные. Все эти земли отличаются засолением, очень низким естественным плодородием, плохой оструктуренностью, неудовлетворительными водно-физическими свойствами. Почвы эти требуют очень внимательного отношения к себе в процессе орошения, выработки дифференцированного комплекса инженерных и агротехнических мероприятий для превращения их в плодородные. Такими мерами являются, например, обязательное дренирование (за исключением пустынных песчаных почв), промывки, оструктуривание, окультуривание и посевы культур-мелиорантов с применением добавок и специальных удобрений. Для пустынных почв характерно очень медленное нарастание продуктивности, постепенное формирование из пустынных новоорошаемых почв. По мнению Н. Г. Минашиной, этот процесс, как она называет, оазисного почвообразо-

вания может длиться 20...30 лет, из них 3...10 лет — первичной мелиорации и 15...20 лет — последующего закрепления этого процесса.

Здесь необходимо подчеркнуть еще раз, что сохранение естественного плодородия пустынных почв имеет очень важное значение для убыстрения этого процесса. Так, серо-бурые почвы, имеющие 10...30-сантиметровый гумусный и биологически активный слой, при сохранении этого слоя уже в течение 2...3 лет, постепенно углубляя свою мощность, резко повышают продуктивность. В противном случае, будучи нарушены планировкой, не могут создать ее в течение десяти лет.

Аналогичные примеры дают сазовые гипсоносные почвы, например, в Голодной степи, где только максимальное сохранение поверхностного почвенного слоя позволяет сравнительно быстро набрать урожайность при осуществлении определенного комплекса агротехнических мероприятий.

Осторожного подхода требуют древнеоазисные, ранее орошаемые почвы, которые обладают высокими запасами гумуса, в то же время либо запесочены с поверхности, либо сильно засолены и отличаются зависимостью механического состава от расположения по отношению к старым оросительным каналам. При осторожном освоении с помощью дренажа, при небольших по мощности слоя промывках и применении химмелиорантов, они могут быстро восстановить плодородие и повысить свою продуктивность. Опыт освоения крупных массивов орошаемых земель в Средней Азии подтверждает это.

Так, в Голодной степи наряду с естественно плодородными почвами сероземного типа за счет участия агроирригационных наносов в процессах опесчанивания и оглинения, увеличения запасов гумуса при правильной агротехнике, применения минеральных и органических удобрений естественное высокое плодородие почв еще более возрастает. Освоены значительные площади солончаковых лугово-болотных и песчаных почв.

В Каршинской степи найдены пути освоения сильнозагипсованных серо-бурых почв, остававшихся ранее бесперспективными. В Ферганской долине, в Аштской степи успешно развивается орошаемое земледелие на щебенистых почвах, а в низовьях Каракалпакии и зоне Каршинского канала осваиваются песчаные массивы по-

движных песков и запесоченные такыры. Успешно осваиваются такырные почвы Тедженского оазиса, такыры и пески Хорезмского оазиса. Разработка комплекса мелиоративных и агротехнических мероприятий, приведенных ниже, позволили и здесь добиться высоких урожаев хлопка-сырца, правда, в более продолжительные сроки.

При дифференцированном определении необходимых мер следует учитывать специфические недостатки таких почв и направлять усилия на их ликвидацию. Такими недостатками для такыров, солончаков, приморских почв являются: наличие солей, чаще щелочей, дисперсность, плохая водопроницаемость, наличие глыбистых горизонтов, низкое содержание гумуса, азота и фосфора; для пустынных песчаных почв, щебенистых — отсутствие связности, рыхлое сложение, исключительная бедность органического вещества (гумус $<0{,}5\%$), почти полное отсутствие азота и фосфора, подверженность ветровой эрозии.

Обобщение характеристик почв аридной зоны, их механических составов, содержания питательных веществ позволяет сгруппировать их при освоении новых земель в две группы: сохраняющие свой тип и изменяющие его под действием мелиоративных процессов.

В первую группу должны быть отнесены почвы I класса, характеризующиеся благоприятным механическим составом, укладывающимся в оптимальную область, которая обычно стабильно сохраняется в почвах с довольно высоким естественным плодородием. Остальные почвы отличаются крайне неудовлетворительным механическим составом, который необходимо улучшать в процессе орошения, добавляя мелкозем или проводя кольматацию, либо оструктуривание или пескование. Большинство улучшенных по механическому составу почв переходит в V класс.

Кроме того, почвы должны быть подразделены на почвы с глубоким однородным сложением по плодородию и микробиологической активностью, которые могут быть подвергнуты планировке, или почвы с явно выраженным плодородием верхнего слоя, которое надо углублять либо сохранять. К первым относятся сероземы всех типов, щебенистые, пустынные и лугово-пустынные почвы, такыры. При этом практически здесь можно допускать планировку на любую глубину, кроме типичных аллювиальных солончаков, где плодородие сохра-

няется только до 0,5 м. При серо-бурых, орошаемых, болотно-луговых и других почвах этого класса нельзя вообще делать планировку, а необходимо постепенно в процессе освоения углублять слабое, но имеющееся естественное плодородие.

Установив возможную направленность почвообразовательного процесса, необходимо далее определить набор работ и мероприятий по его развитию и затем на основе требований почв и технологических показателей — тип мелиоративного режима и требования к технике полива, дренированию и т. д. Этот процесс можно представить в виде блок-схемы (рис. 21), в которой за основу берут последовательно свойства почвы: механический состав, засоление, агрегатный состав, запасы питательных веществ, устанавливающие как необходимость мелиорации почв и определенной агротехники, так и требования к мелиоративному режиму и отсюда к технике полива, а также возможность (или нет) планировки.

Определяющим свойством почв является механический состав. Если в естественном сложении механический состав не укладывается в оптимальную область, следует предусматривать мероприятия по доведению почв до ее границ.

Следующими свойствами являются степень засоления, которая создает требования к проведению промывок, и агрегатный состав — требования к агротехмелиорациям по улучшению структуры. Наконец, деятельность микроорганизмов и плодородие почв определяют требования к сохранению (или нет) плодородия слоя, а отсюда и к возможности планировки. Природа плодородия одновременно выдвигает требования и к возможности планировки и к мелиоративному режиму. Для почв, сформировавших свое высокое плодородие вследствие высокой грунтовой увлажненности, необходимо поддерживать полугидроморфный режим с целью сохранения запасов гумуса, питательных веществ, структуры. Наоборот, для сероземов, сформировавшихся в атмосферных условиях, необходимо поддержание их либо в полуавтоморфном, либо автоморфном режиме без допущения интенсивной инфильтрации с соответствующей техникой полива (капельное, струйчатое, регулируемое, бороздковое). Для этих и других типов грунтов выбор непосредственных параметров мелиоративного режима должен

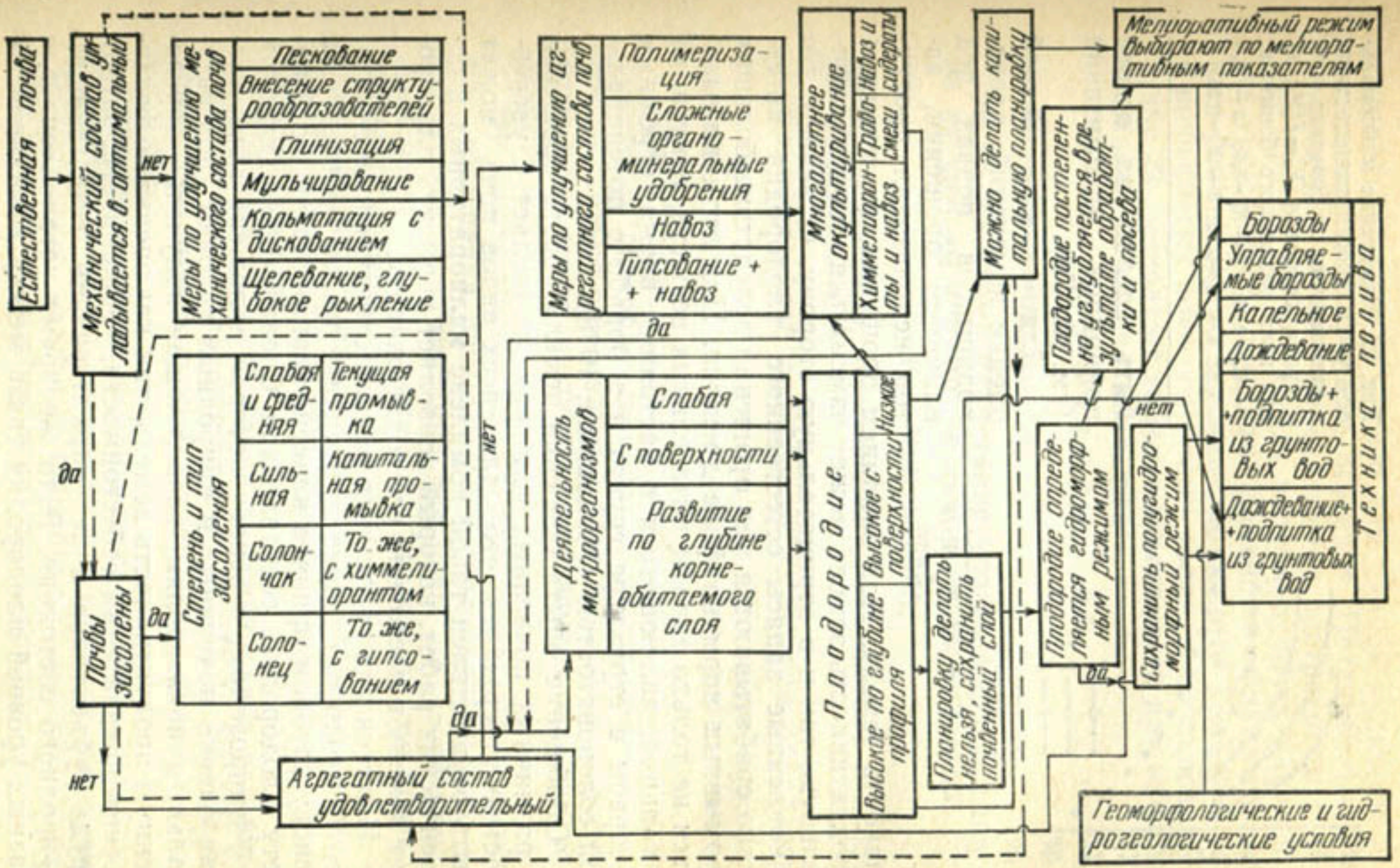


Рис. 21. Схема выбора почвообразовательного процесса и мелиоративного режима.

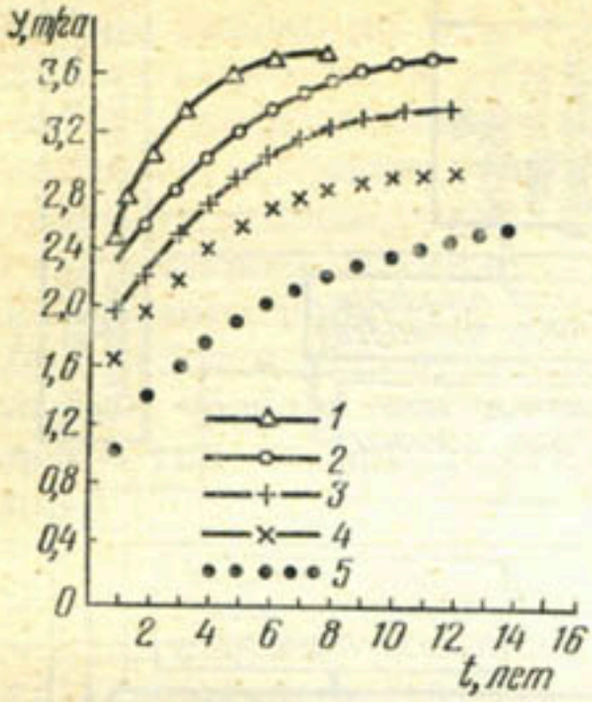


Рис. 22. Изменение максимальной урожайности хлопка-сырца в зависимости от бонитета почв и срока освоения $У_z = f(У_0; t)$ для почв различного бонитета: *1* — $К_б$=0,95; *2* — $К_б$=0,9; *3* — $К_б$=0,82; *4* — $К_б$=0,72; *5* — $К_б$=0,55.

быть сделан на основе принципов оптимизации (см. гл. IV).

Для качественной оценки изменений, происходящих в почвах под влиянием орошения, автор использовал продуктивность земель. Под влиянием орошения и освоения продуктивность земель может изменяться как в положительную, так и в отрицательную сторону. Отмечено, что накопленные запасы естественного плодородия интенсивно срабатываются при орошении вследствие больших промывных норм на фоне дренажа. При этом вымываются не только запасы питательных веществ, гумуса, но и кальция, являющегося в настоящее время огромным резервом в структуре грунта и в борьбе с потенциальной солоноватостью (Минашина, 1978).

Обобщение опыта освоения земель нового орошения в различных почвенных условиях позволяет с уверенностью утверждать, что для всех видов почв может быть осуществлен такой комплекс мелиоративных и освоенческих работ, который позволяет повысить плодородие земель и постоянно его поддерживать.

Имеется ряд различных мнений относительно показателей плодородия почв при оценке их по бонитету. За основу автором принята классификация земель по бонитету плодородия, составленная Средазгипроводхлопком и Узгипроземом, в основу которой положена комплексная оценка почвенных и природных условий по натуральным показателям, позволяющая получать определенную продуктивность земель, так как оценка по фактическим показателям себестоимости, урожайности, затрат труда субъективна и не характеризует естественного природного состояния. В то же время установлена для разных уровней плодородия связь между начальной по-

тенциальной урожайностью для данной культуры и нарастанием ее в процессе освоения. Потенциальная урожайность и ее рост определяются построением огибающей кривой по множеству натурных точек анализа роста урожайности по годам. Семейство кривых с различным бонитетом, построенные по данным Голодной степи и щебенистых почв подгорных долин, показанных на рисунке 22, позволяют вывести зависимость для начальной урожайности хлопчатника, т/га:

$$У_0 = 1 + 3{,}2\,(K_б - 0{,}5), \qquad (21)$$

где $K_б$ — коэффициент бонитета.

В то же время нарастание урожайности происходит по различным кривым, общая функция которых

$$У_t = У_0\,(1 + \alpha \ln t), \qquad (22)$$

где α — коэффициент, зависящий от осуществленных мероприятий для различных почв.

Коэффициенты, полученные по данным обработок:

$K_б$	0,95	0,90	0,82	0,72	0,55
α	0,219	0,224	0,290	0,311	0,699

При орошении новых земель могут быть применены различные способы освоения и культуртехнических работ, но только оптимальный даст возможность получить темп повышения продуктивности земель, близкий к потенциальному.

На основе опытов САНИИРИ, «Средазгипроводхлопка», обобщения результатов исследований целого ряда институтов и организаций для почв, в соответствии с классификацией и принципами, изложенными выше, подобраны оптимальные методы освоения (табл. 26), включающие промывки, предварительную обработку, внесение химмелиорантов, навоза, удобрений, посевы культур-освоителей.

В основу классификации положено либо углубление и наращивание плодородия почв (I, III, V, VI, VII, VIII, табл. 30), либо создание плодородия заново (II, IV, табл. 30).

Староорошаемые земли при правильном ведении агротехники и орошения также наращивают плодородие, хотя довольно медленно. Обработка многолетних рядов наблюдений по методу огибающих кривых (Е. А. Рой-

26. Выбор метода освоения при орошении новых земель

Осваиваемые почвы	Рекомендуемый метод освоения	Урожай хлопка $У_0$, т/га	Урожай максимальный хлопка, т/га	Срок освоения, лет	N, P, K
Сероземы светлые засоленные	Легкие промывки с внесением навоза 35...40 т/га или лигнина 10...20 т/га; суданская трава, кукуруза (I)	1,6...1,8	3,5	4...8	250; 250; 50 СПУ; МФУ
Почвы пустынные такыровидные	Легкая промывка пустынных такыровидных почв после озимой пшеницы и посев с весны хлопка, джугары, кукурузы; 10-сантиметровый слой песка чизелеванием; суданка, сорго — кукуруза — хлопок (II)		3,0...1,5	5...8 6...10	400; 350; 50; 600; 400; 50
Такыры					
Серо-бурые	Люцерна+навоз 40 т/га без планировки либо кукуруза с запашкой на зеленые удобрения (III)	1,8	40	5...8	350; 250; 50
Почвы литоморфные: пустынные песчаные; каменистые, щебенистые	Внесение суглинка 300...500 т/га, кольматация чеков при наличии мутной воды; при содержании камней до 20% — посев кукурузы, джугары с запашкой растительных остатков (IV)		3,5	10...12	350; 175; 125
Почвы гидроморфные: солончаки, сазовые остаточные, вторичные	Капитальные промывки до глубины 50 см с внесением лигнина 10...20 т/га, химмелиорантов (СПУ), посев кукурузы (сорго), суданской травы; глубокое рыхление (V)	1,0...1.2	3,0	6...10	250; 250; 100; фосфор отдельно в виде суперфосфата
Почвы гидроморфные: аллювиально- и болотно-луговые, луговые сероземы	Легкие промывки, посев ячменя с подсевом люцерны, сорго; почвоуглубление рыхлителем на глубину 50 см (VI)	2,0	4,0	5	350; 250; 75
Приморские солончаки	Капитальные промывки, временный мелкий дренаж, посев ячменя (пшеница), люцерна (сорго) (VII)	1,2	2,5	10...12	350; 250; 100
Орошаемые почвы	Рыхление, люцерна+навоз (VIII)	0,1	4,0	5	250; 250; 50

тенберг) роста продуктивности земель в Узбекистане показывает, что она имеет характер кривой, асимптотически приближающейся к предельной продуктивности:

$$У = 14{,}873 + 0{,}24t + 0{,}00892t^2 - 0{,}000121t^3, \quad (23)$$

где t — год, отсчитываемый с 1941 г.

Немаловажное значение для обеспечения высокой продуктивности земель аридной зоны имеет содержание в оросительной воде значительного количества взвешенных наносов со средней крупностью менее 0,01 мм. При этом, хотя величина взвешенных наносов очень разнится по временам года и различным рекам и на эту величину сильно влияет зарегулирование стока реки, мутность остается высокой.

Повышенная мутность рек способствует кольматации земляных каналов, образованию в них наилка, который резко снижает потери воды и фильтрацию из каналов, особенно проходящих в песчаных грунтах. В связи с этим имеется положительный опыт закольматированных каналов с круглогодовым режимом работы (Амубухарский, Ульяновский в Каршинской степи, Каракумский в районе Келифских озер с расходами от 60 до 400 м³/с). Устойчивость их антифильтрационного эффекта определяется постоянным поддержанием во влажном состоянии наилка и слоя кольматанта.

Другое важное практическое значение этого явления заключается в улучшении структуры и плодородия всех видов почв: супесчаных, песчаных пустынных и такыровидных. Первоначально даже в сероземах происходит быстрое разрушение структуры неорошаемых почв вследствие выщелачивания гумуса, разрушения почвенных коллоидов. Наряду с укреплением, повышением агрегированности почв твердая фаза оросительной воды, содержащая огромное количество питательных элементов, способствует быстрому окультуриванию таких земель. По данным В. А. Ковды, ежегодно в дельте Амударьи накапливается азот (20 кг/га), калий (1000 кг/га) и кальций (4500 кг/га).

Ценным свойством воды почти всех рек Средней Азии является содержание карбонатов.

Благодаря геоморфологической структуре зон стокообразования, представленных известняками, мергелями, мраморами, доломитами, а в долинной части лессовыми

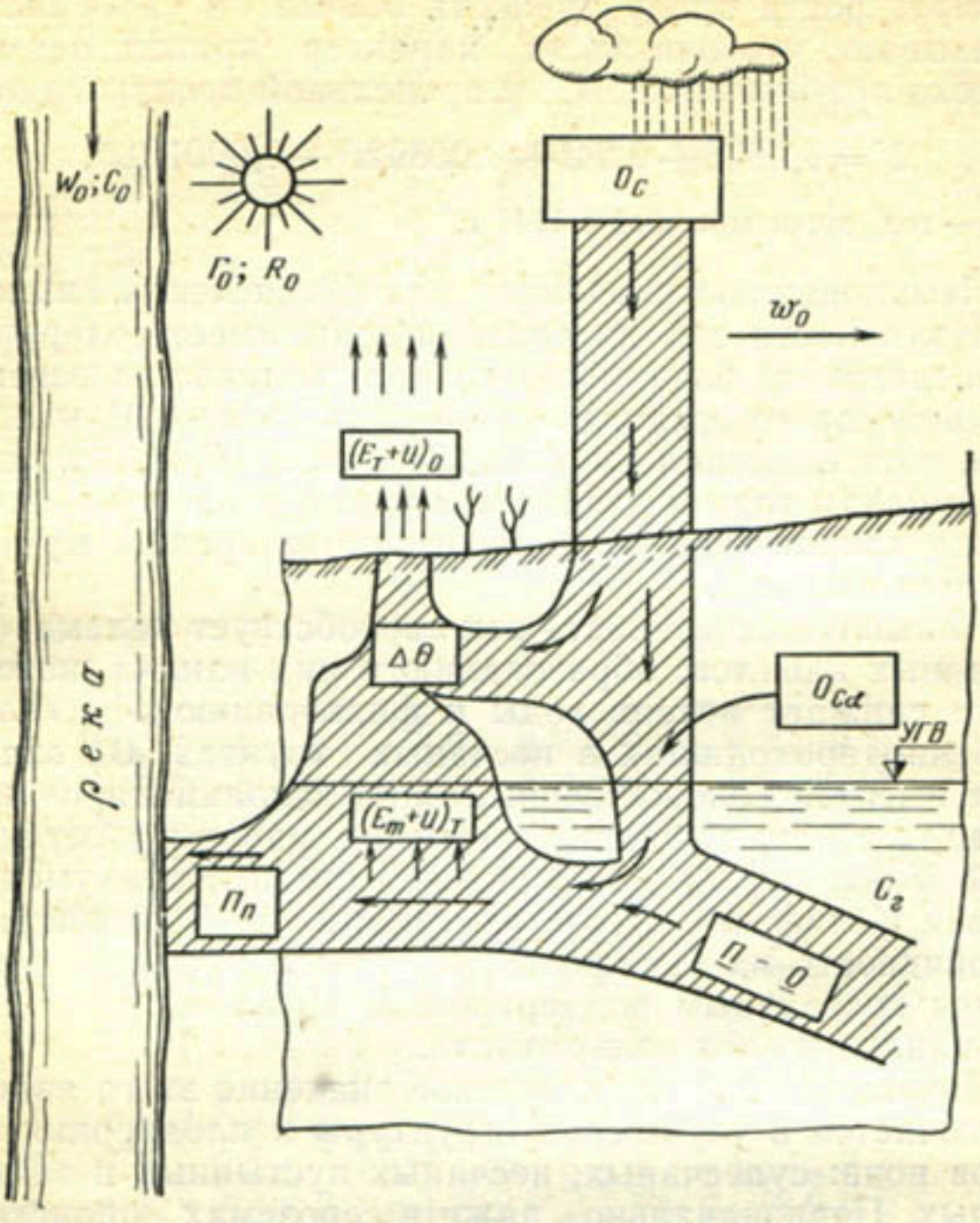


Рис. 23. Взаимодействие естественных вод на массиве до орошения.

и лессовидными породами, карбонаты кальция перемещаются в воде рек как во взвешенном состоянии, так и в растворимом. Высокое содержание карбонатов кальция не только резко улучшает условия почвообразования в районах орошения, но и значительно повышает предел возможного применения минерализованных вод. Хотя почвы Тедженского оазиса, низовьев Амударьи не содержат большого количества сульфатов, карбонатов кальция, как почвы Каршинской и Голодной степей, тем не менее солеустойчивость культур такая же высокая, как и в Голодной степи. Хлопчатник, например, можно поливать водой с минерализацией до 1,5...2 г/л без заметного снижения урожайности в течение ряда лет.

Рассматривая отдельные опытные или опытно-производственные участки, равно как и эталонные участки водно-балансовых станций, можно достаточно точно идентифицировать природные условия, включая геологические и гидрологические особенности, почвенные и водно-физические свойства с определенной степенью приближения. При этом для одного участка площадью до 12 га необходимо и возможно за счет большего числа точек наблюдений получить осредненные показатели диффузии, сорбции, капиллярного потенциала для данной дренированности с определенными конструкциями дренажа и оросительной сети, динамичных характеристик и параметров развития растений в увязке с влажностью, необходимых для более уточненной идентификации на основе моделей влаго- и солепереноса.

Гидрогеологические условия и их динамика под влиянием орошения. Под влиянием естественных процессов влагообмена на территории бассейна в неорошаемых условиях устанавливается достаточно стабильный круговорот воды, определяемый интенсивностью естественного испарения, осадков, оттока в реку, притока с вышележащих территорий и подстилающих напорных пластов, при котором складываются естественные режимы грунтовых вод (рис. 23). При развитии орошения естественный режим резко изменяется и первоначально находится в постоянной динамике, а затем стабилизируется при новых скоростях водооборота и интенсивностях влагообмена между приземным слоем и почвой (включая зону аэрации), между зоной аэрации и грунтовыми водами, наконец, между грунтовыми водами и сбросной сетью, с одной стороны, и водоприемником-рекой, озером, бессточной впадиной — с другой (рис. 24).

Любые изменения вышеуказанных факторов при реконструкции оросительных систем, а также нарушающееся установившееся равновесие в антропогенно-природном комплексе приводят к последующей новой стабилизации вновь установившихся параметров, в первую очередь глубины грунтовых вод.

Характер нового режима составляющих водного баланса зоны аэрации и грунтовых вод зависит от коэффициента полезного действия системы, техники полива, засоленности почвогрунтов и необходимости их промывок, фильтрационных свойств, условий взаимосвязи грунтовых вод орошаемого массива с прилегающими во-

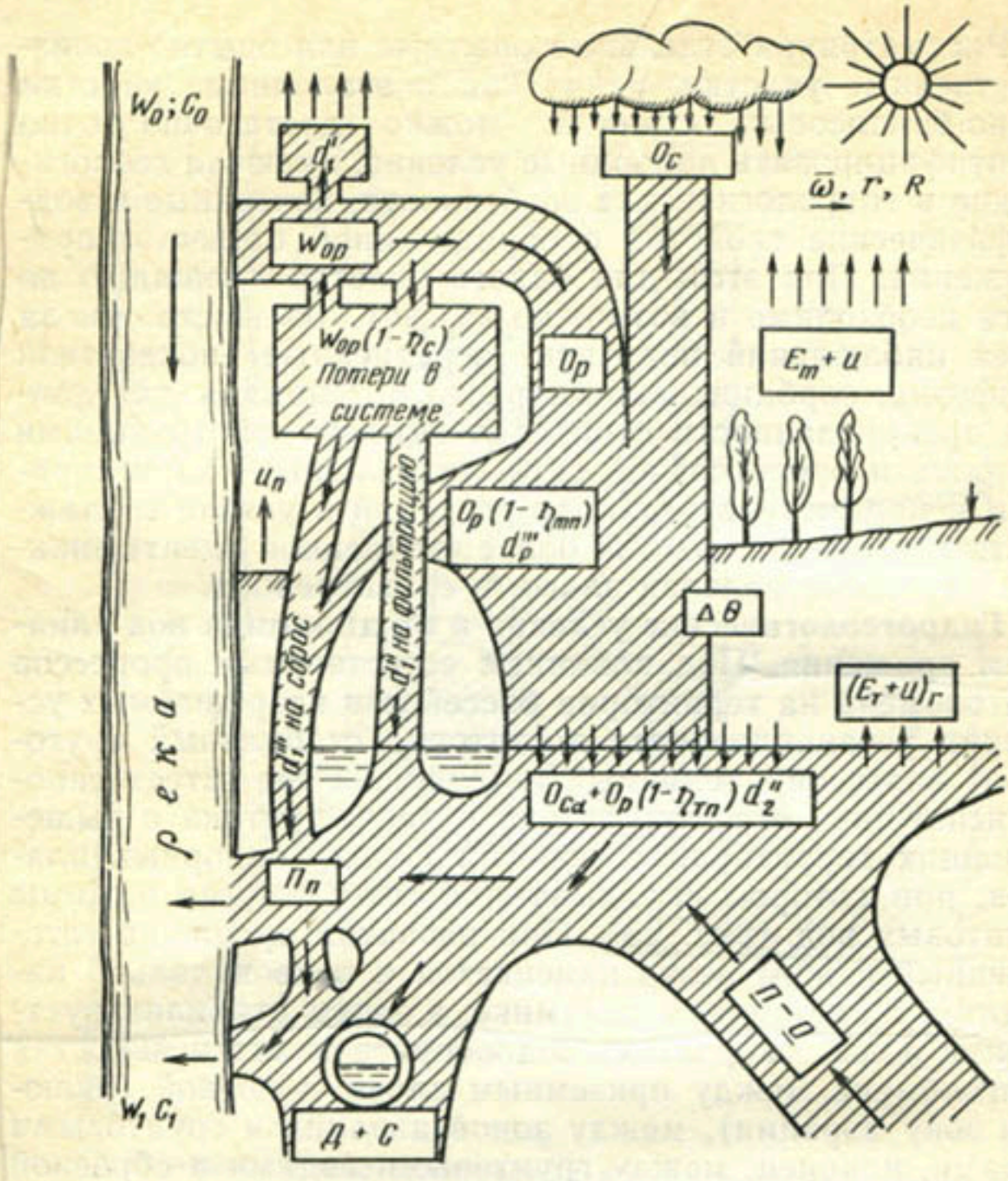


Рис. 24. Взаимодействие вод на массиве орошения.

доносными горизонтами. При этом КПД системы и техники полива и промывная норма являются первично управляемыми факторами, а взаимосвязь их с грунтовыми водами — следствием изменения уровня грунтовых вод на массиве, который при необходимости можно регулировать дренажем различного типа.

Для успешного управления всеми взаимодействующими факторами при использовании балансового метода необходимо дать прогноз грунтовых вод в изменяющихся водохозяйственных условиях (Кац, 1976).

Однако для больших массивов и их типичных таксономических единиц с площадью даже тысяча гектаров получить эти параметры просто невозможно. Поэтому применение в таких случаях балансового метода — единственно возможный путь решения крупномасштабных задач.

Разработан набор балансовых уравнений (И. А. Сорокина) в виде фрагментов для различных воздействий (рис. 25, табл. 27). За основу приняты предложения, изложенные в работах Д. М. Каца и В. М. Шестакова. Здесь главным фактором является воздействие оросительной воды, подаваемой в систему в виде части объема, поступающего ниже корнеобитаемого слоя, сверх полезно используемого:

$$O_{\text{р}}(1-\eta_{mn})\,d_2'' + O_{\text{р}}\frac{(1-\eta_{\text{с}})}{\eta_{\text{с}}}\,d_1''.$$

Из этого объема за интервал времени Δt часть воды поступает в грунтовые воды, часть идет на изменение влажности в зоне аэрации с θ_0' до θ'. При вегетационных и промывных поливах, когда влажность поверхностного слоя почвогрунтов высокая и имеют место нисходящие потоки влаги, с уровня грунтовых вод испарение либо отсутствует, либо очень незначительно.

Решение уравнений

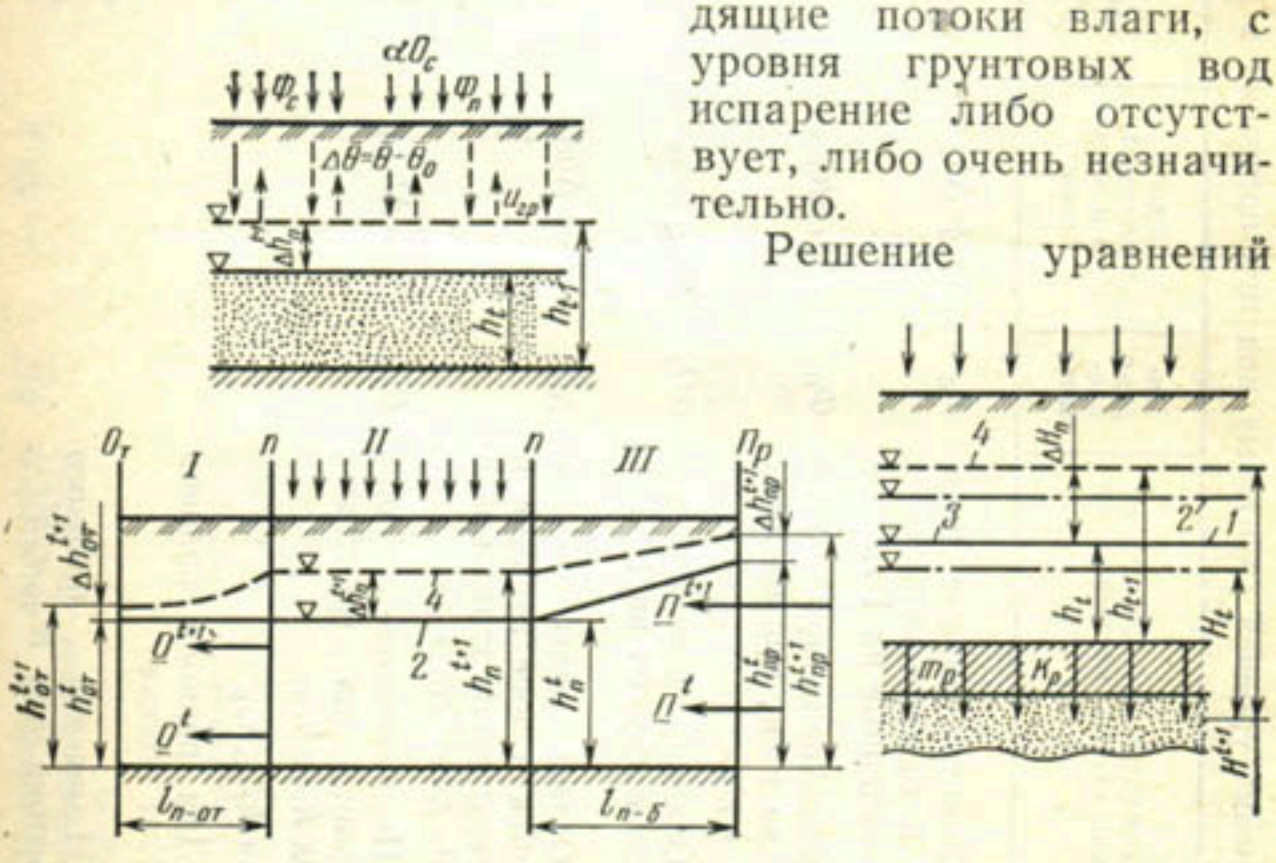


Рис. 25. Расчетные гидродинамические схемы:

1 — УГВ до орошения; *2* — УГВ при орошении; *3* — линия пьезометрического напора до орошения; *4* — то же, при орошении; I — зона растекания; II — зона транзита; III — зона притока.

27. Изменение уровней грунтовых вод при орошении в зависимости от различных воздействий, м/сут

Расчетная схема	Элементы гидродинамической схемы, учитываемые в расчете	Индекс элемента	Индекс изменения УГВ в общем поле	Формула составной части балансового уравнения
а—1	Фильтрационные потери в оросительной сети, приведенные на 1 га	$\Phi_с$	$+\Delta h_с$	$\mu \frac{\Delta h_{ср}}{\Delta t} = O_р \frac{1-\eta_с}{\eta} d_1''$
а—2	Фильтрационные потери на поле, приведенные на 1 га	$\Phi_п$	$+\Delta h_{пол}$	$\mu \frac{\Delta h_{пол}}{\Delta t} = O_р(1-\eta_{т.п.})d_2''$
а—3	Осадки, поступающие в почвогрунты на 1 га	$\alpha O_с$	$+\Delta h_{ос}$	$\mu \frac{\Delta h_{ос}}{\Delta t} = \alpha O_с$
а—4	Объем воды, остающийся в зоне аэрации и изменяющий запас влаги с θ_0 до θ' на 1 га	$\Delta\overline{\theta}$	$-\Delta h\overline{\theta}$	Для среднегодовых условий $\Delta\overline{\theta}=0$ Для интервала Δt $\mu \frac{\Delta h \Delta\theta}{\Delta t} = -\frac{\overline{\theta}_1 - \overline{\theta}_0}{\Delta t} z$
а—5	Подпитывание зоны аэрации из грунтовых вод $h_г \geqslant h_{кр}$	$U_{гр}$	$-\Delta h u_{гр}$	$-U_{гр}=0$
	при $h_г \leqslant h_{кр}$			$U_{гр}=0$
	Для периода поливов $\Delta t > t$ полива			$\mu \frac{\Delta h_{U_{гр}}}{\Delta t} = -\frac{1}{\Delta t} U_{гр}/\Delta t - \Sigma t_{пол}$
б—1	Изменение бокового притока при $h^t{}_{пр} \leqslant h^{t+1}$			$\mu \frac{\Delta h_{\Delta П}}{\Delta t} = \frac{b_{пр} K_{ср}}{l_{п-б}\omega}(-\Delta h_п{}^{t+1})$,

	Изменение бокового притока одной и более сторон	$\Delta\underline{П}$	$-\Delta h_{\Delta п}$	$\sum_{i=1}^{n} \mu_i \frac{\Delta h^i{}_{\Delta П}}{\Delta t} \sum_{i=1}^{n} \frac{b^i K^i{}_{ср}}{l^i{}_{п-б\omega}} (\Delta h^{t+1}{}_{пр,i} h^{ср}{}_{пр,i} - \Delta h_п{}^{t+1} h_п{}^{ср})$,
б—2	Изменение бокового оттока в одну и более стороны при $h^t{}_{от,i} = h_{от}{}^{t+1} = h_{от,t}$	$\Delta\underline{0}$	$-\Delta_{\Delta\underline{0}}$	$-\sum_{i=1}^{n} \mu_i \frac{\Delta h^i \Delta\underline{0}}{\Delta t} =$
				$= \sum_{i=1}^{n} \frac{b^i{}_{от} K^i{}_{ср}}{l^i{}_{п-от\omega}} \left(h^t{}_п - \frac{\Delta h^{t+1}{}_{от,i} + \Delta h_п{}^{t+1}}{2} \right) (\Delta h_п{}^{t+1} - \Delta h^{t+1}{}_{от,i})$,
				$-\sum_{i=1}^{n} \mu_i \frac{\Delta h^i \Delta\underline{0}}{\Delta t} = \sum_{i=1}^{n} \frac{b^i{}_{от} K^i{}_{ср} \Delta h_n{}^{t+1}}{l_{n-от}} \left(h_п{}^{t+1} + \frac{\Delta h_n{}^{t+1}}{2} \right)$
б—3	Изменение бокового притока и оттока одновременно	$\Delta\underline{П}$ $\Delta\underline{0}$		$\sum_{i=1}^{n} \mu_i \Delta h^i{}_{\Delta\underline{П}} - \sum_{j=1}^{n} \mu_j \Delta h^j{}_{\Delta\underline{0}} =$
				$= \frac{\Delta t}{\omega} \left[\sum_{i=1}^{n} \frac{b^i{}_{пр} K^i{}_{ср}}{l_{n+0}} (\Delta h^{t+1}{}_{пр,i} h^{ср}{}_{пр,i} - \Delta h_n{}^{t+1} h_n{}^{ср}) \right]$
				$-\sum_{j=1}^{n} \frac{b^i{}_{от} K^i{}_{ср}}{l^t{}_{п-от}} \left(h^t{}_{от,j} + \frac{\Delta h^{t+1}{}_{от,j} + \Delta h_п{}^{t+1}}{2} (\Delta h_п{}^{t+1} - \Delta h^{t+1}{}_{п,j}) \right)$.
в	Изменение подпитывания снизу	ΔP	$\pm\Delta h_{\Delta p}$	$\mu \frac{\Delta h_{\Delta p}}{\Delta t} = \pm \frac{K_p}{m_p \omega_p} (\Delta h_п{}^{t+1} - \Delta H^{t+1})$.

таблицы 26 относительно Δh не представляет сложности. В схемах «*б*—*в*» они квадратичны относительно Δh_{t+1}, действительное значение которого может быть найдено на основании факторного анализа — сопоставления величины $\Delta h_{\Delta п}$; $\Delta h_{\Delta П}$ и $\Delta h_{от}$ с результатами расчетов Δh_{t+1} по расчетным схемам.

В таблице приняты обозначения: μ — коэффициент водоотдачи; Δt — период вегетации; $h_г$ — средний уровень грунтовых вод в период вегетации; $h_{кр}$ — критический уровень грунтовых вод; z — мощность зоны аэрации; $b_{от}$ и $b_{пр}$ — соответственно ширина фронта оттока и притока сбоку; $K^i_{ср}$ — коэффициент фильтрации в зоне растекания; $K_р$ — коэффициент фильтрации слоя перетока; $m_р$ — мощность зоны перетока; ω — отношение площади воздействия орошения к площади растекания (или притока); $\omega_р$ — то же площади воздействия к площади напорного перетока (или естественного подземного оттока).

На основе общего вида балансового уравнения, учитывающего гидродинамические факторы при орошении, можно определить условие поддержания уровня грунтовых вод на постоянных отметках за период t на площади F:

$$O_р \frac{(1-\eta_с)\, d_1'' (1-\eta)\, \eta_с d_2''}{\eta_с} + \alpha \underline{O}_с \pm \frac{\Sigma \Delta \underline{П}}{F} \leqslant$$

$$\leqslant \frac{\Delta\theta}{\Delta t} + U_{гр}\left(1 - \frac{\Sigma t_{пол}}{\Delta t}\right) + \frac{\Sigma \Delta \underline{O}}{F} \pm \frac{\Delta P}{F}, \qquad (24)$$

где $t_{пол}$ — время полива.

Если естественный отток ($\underline{O}$—$\underline{П}$) не удовлетворяет этому условию, то необходим дренаж, дренажный модуль которого с учетом промывной нормы определяют по формуле, м³/га в сут

$$D \geqslant O_р \frac{(1-\eta_с)\, d_1'' + (1-\eta_{mn})\, \eta_с d_2''}{\eta_с} + \alpha O_с \pm$$

$$\pm \frac{\Sigma \Delta \underline{П}}{F} + M - \frac{\Delta\theta}{\Delta t} - U_{гр}\left(1 - \frac{\Sigma t_{пол}}{\Delta t}\right) - \frac{\Sigma \Delta \underline{O}}{F} = \frac{\Delta P}{F}. \qquad (25)$$

По рисунку 24 и уравнению можно дать прогноз интенсивности подъема уровня грунтовых вод, время достижения критического уровня, определить нагрузку на дренаж.

Определение величины растекания требует многочисленных натурных наблюдений, и в процессе прогноза она может быть установлена либо по решению П. Я. Полубариновой-Кочиной, либо по аналогии. Накопленные данные по Голодной степи, материалы института «Узгипроводхоз», наблюдения по новым зонам освоения показывают, что в суглинках с $K_ф = 0{,}1...0{,}4$ м/сут уклон растекания составляет 0,02...0,06, в переслаивающихся суглинках и супесях с $K_ф = 0{,}6...1{,}2$ м/сут — 0,04...0,09.

Зависимости, приведенные в таблице 31, позволяют систематизировать типы кривых подъема уровня грунтовых вод.

Под влиянием орошения в аридной зоне формируются в основном генетические режимы грунтовых вод, которые Д. М. Кац относит к ирригационной группе с резким влиянием оросительных вод и влиянием осадков в пределах 10%. Однако в зависимости от соотношения статей баланса грунтовых вод в разные сезоны года виды кривых подъема их уровня будут отличаться друг от друга.

По изменению режима уровня грунтовых вод под влиянием орошения можно выделить несколько типовых видов кривых подъема (рис. 26):

естественная дренированность очень велика, и доля питания грунтовых вод инфильтрационными токами в результате орошения настолько незначительна по отношению к оттоку, что их уровень остается стабильным в течение года: $\left(\frac{\Delta O - \Delta П}{F}\right) >$ всей остальной части балансового уравнения;

в условиях естественного оттока грунтовых вод, недостаточного для периода промывок и интенсивных поливов, но компенсируемого в течение года, уровень грунтовых вод остается в течение года на прежнем уровне, но имеются пиковые подъемы в период промывок и поливов: $\frac{\Delta O - \Delta П}{F} =$ в течение года больше остальной части уравнения, а в отдельные периоды меньше;

в условиях слабого естественного оттока, недостаточного в целом по году, но достаточного в невегетационный период, уровень грунтовых вод поднимается в целом вверх, но с промежуточными спадами в невегетационный период;

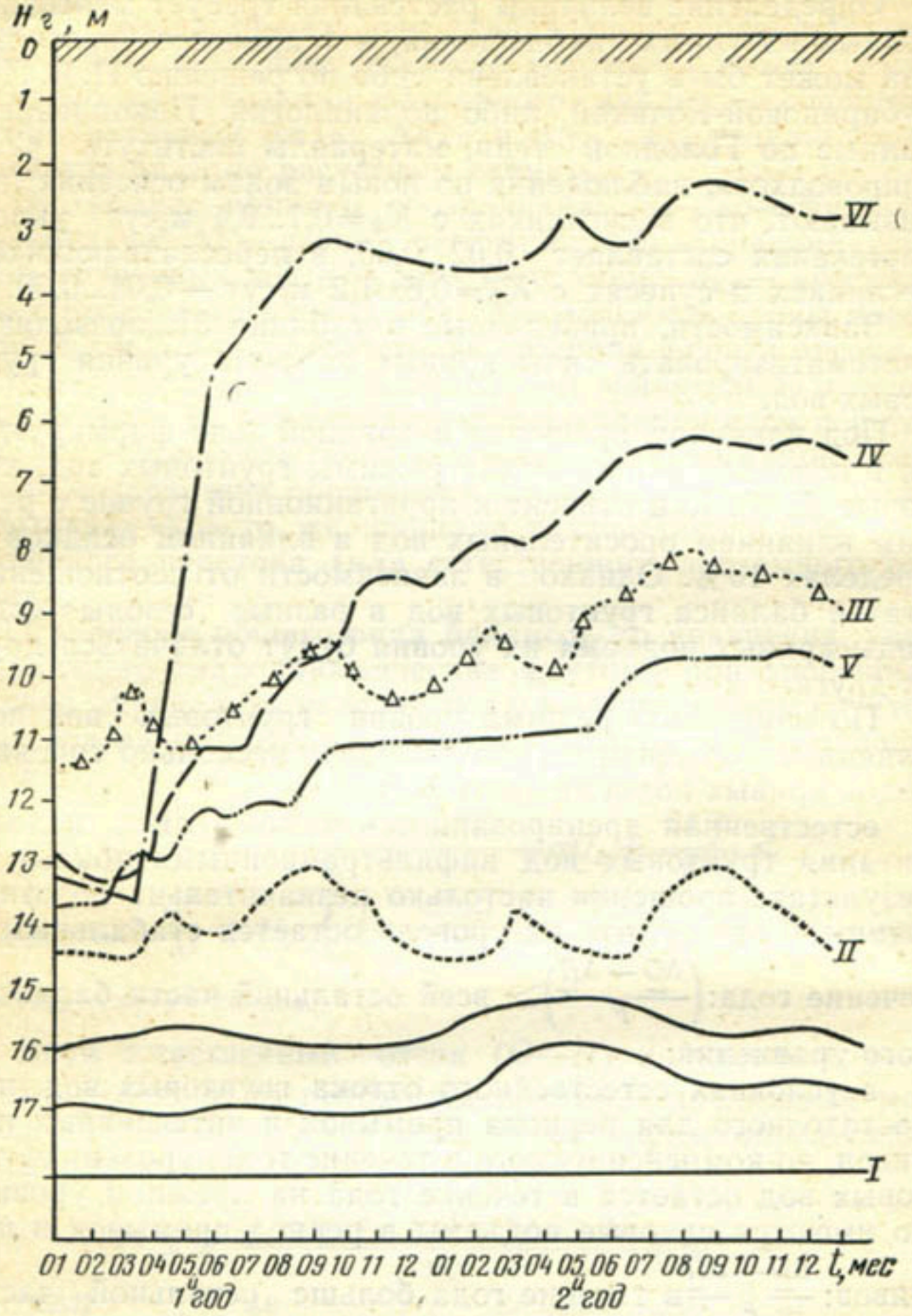


Рис. 26. Кривые подъема уровня грунтовых вод на вновь орошаемых землях Голодной степи:

I — Каршинская степь; II — Голодная степь; 1974—1975 гг.; III — то же, 1968—1969 гг.; IV — то же, 1967—1968 гг.; V — Турткуль.

при бессточном режиме с резким подъемом уровня грунтовых вод в период вегетации и небольшим спадом в межвегетационный;

в условиях напорного питания грунтовых вод спада не происходит даже в невегетационный период;

при освоении земель путем капитальных промывок или посевов риса с предварительным строительством дренажа происходит резкий подъем уровня грунтовых вод, переходящий далее в режим, характерный для нормального оросительного режима грунтовых вод на фоне дренажа.

Анализируя ход подъема уровня грунтовых вод, можно определить напорность или отточность их в естественных условиях. Действительно, в период, когда отсутствуют поливы, промывки, осадки $(\underline{П} - \underline{О}) = \pm\mu\Delta h$.

Определение таким методом характеристик $(\underline{П} - \underline{О})$ в зоне совхозов № 1...2 Каршинской степи позволило отказаться в 1978 г. от строительства дренажа, что дало экономию около 2,6 млн. р.

При поливах и промывке, несмотря на глубокое залегание уровня грунтовых вод и хорошую водопроницаемость толщи, может формироваться временно верховодка на прослоях глин и тяжелых суглинков. Это явление в Каршинской степи способствовало уменьшению глубинной инфильтрации при поливах.

Действие развивающегося орошения на грунтовые воды в основном происходит равномерно по площади при инфильтрации в поле и из мелкой оросительной сети. Влияние же крупных оросительных каналов сосредоточенно; создаются интенсивные бугры — потоки фильтрационных вод в грунтовые. При наличии водоносных слоев возникает не только повышенный приток в зоне влияния канала, требующий усиления дренажа, но и образуется вторичная напорность, которая распространяется на значительные расстояния.

Автором прослежено влияние вторичной напорности ЮГК на землях юго-восточного массива Голодной степи на расстоянии более 12 км от канала. Поэтому должны быть предъявлены повышенные требования к антифильтрационным покрытиям каналов, так как необходимо не только уменьшить фильтрацию из каналов, но и по возможности свести к нулю возникновение вторичной напорности из подкомандной площади.

Тесно связано с динамикой уровня грунтовых вод изменение влажности зоны аэрации. До орошения уровни грунтовых вод залегают глубоко, влажность зоны аэрации обычно низкая и близка к влажности увядания. Изменение ее до орошения происходит только в верхнем слое (0...250 см) за счет осадков, инфильтрации и испарения, а также иногда в подгорных долинах под действием селевых и других паводковых вод. В нижнем слое влажность изменяется только в зоне капиллярной каймы по мере движения уровня грунтовых вод под действием сезонных и других колебаний.

Интенсивность иссушения грунтов на целине, так же как и в последующем при орошении, определяется водоудерживающей способностью грунтов и коэффициентом водоотдачи. Активная зона изменения влажности в слоистых грунтах Каршинской степи составляет 130... 180 см, в Голодной степи — 150...200 см, в супесях и легких суглинках низовьев Амударьи (Хорезм, Ташауз) — до 150 см.

В условиях аридной и полуаридной зон можно выделить в неорошаемых условиях пахотный горизонт, горизонт корнеобитания (он же горизонт сезонного испарения и изменения влаги), которые достигают, как мы указывали ранее, глубины не более 200 см, далее третий горизонт — устойчиво низкой влажности и четвертый — каймы.

Под влиянием орошения с исходными глубокими грунтовыми водами начинает интенсивно изменяться влажность зоны аэрации, которая зависит от динамики грунтовых вод.

При атмосферных осадках на землях с достаточной естественной дренированностью влажность изменяется только в верхней части толщи. Наблюдения на типичном сероземе с глубоким залеганием уровня грунтовых вод за изменением режима влажности показали, что на целине под влиянием осадков промачивание достигает 2 м, а со второго метра до капиллярной каймы имеется горизонт постоянного иссушения с влажностью 5...8%, соответствующей полуторной максимальной гигроскопичности. При орошении отмечено создание горизонта подвешенной влаги на глубине 4...10 м с влажностью 18... 22% в течение всего года, которая опускается до 15... 17%. Сезонным колебаниям влажности под влиянием поливов подвержена толща до 4 м.

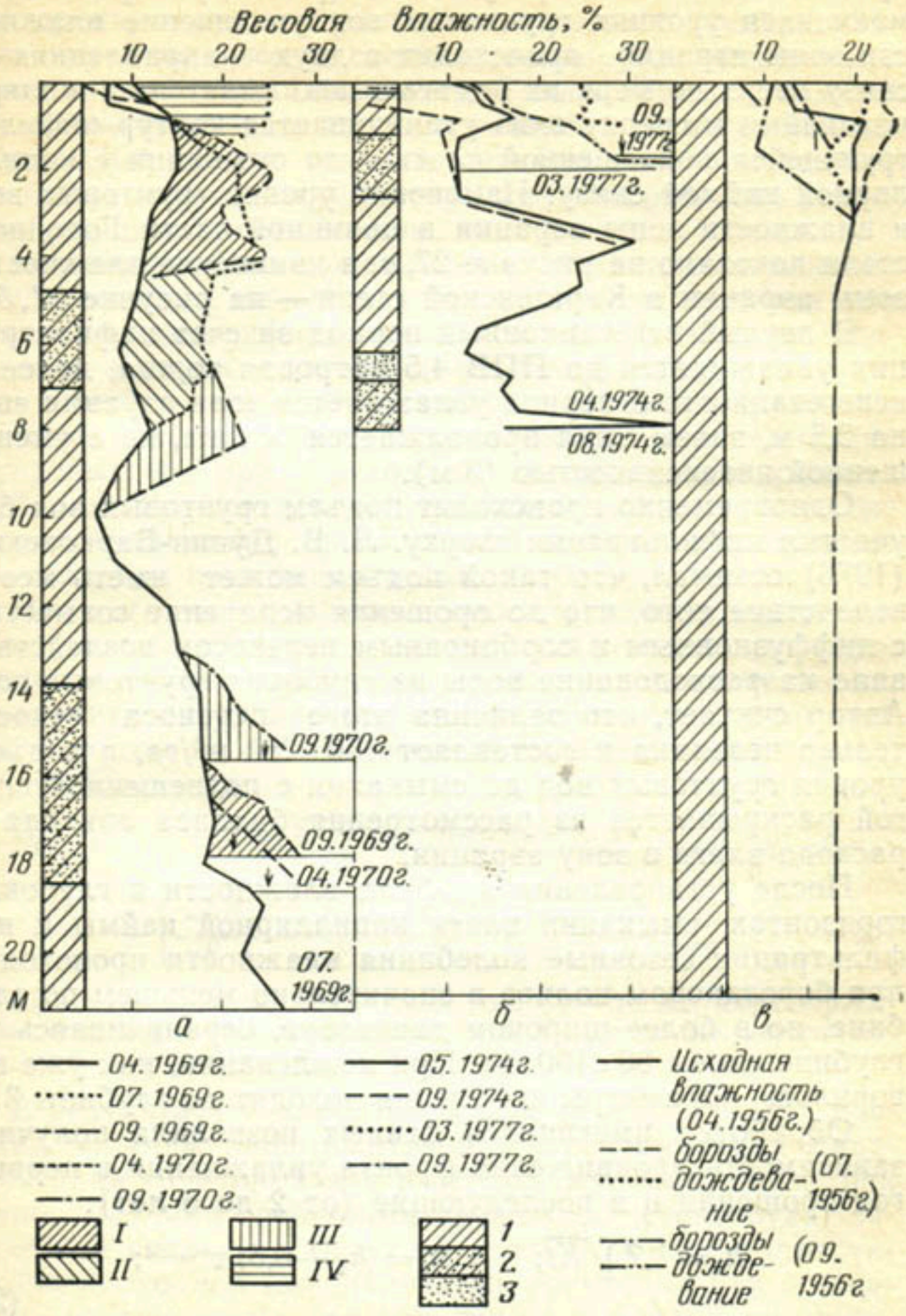


Рис. 27. Изменение влажности и уровня грунтовых вод при орошении:

а, в — при недостаточном естественном оттоке; *б* — при сохранении автоморфных условий; *1* — лессовый суглинок; *2* — супесь; *3* — песок; *I* — лето 1969 г.; II — зима 1969/70 г.; III — лето 1970 г.; IV — контур сезонного увлажнения.

На опытной станции САНИИРИ под Ташкентом получены аналогичные результаты (рис. 27). При поднимающихся уровнях грунтовых вод увеличение влажности зоны аэрации происходит в двух направлениях — снизу вверх по мере их подъема поднимается капиллярная кайма и сверху вниз увеличивается контур инфильтрующейся подвешенной влаги — до смыкания с капиллярной каймой снизу. Изменение уровня грунтовых вод и влажности зоны аэрации в целинной части Голодной степи показано на рисунке 27, *а*, а изменение влажности зоны аэрации в Каршинской степи — на рисунке 27, *б*.

В первый вегетационный период за счет инфильтрации увлажняется до ППВ 4,5-метровая толща, далее в невегетационный период увлажняется зона аэрации еще на 2,5 м, затем цикл продолжается снова, но с уменьшенной интенсивностью (3 м).

Одновременно происходит подъем грунтовых вод без участия инфильтрации сверху. Л. В. Дунин-Барковский (1976) отмечал, что такой подъем может иметь место вследствие того, что до орошения испарение совместно с диффузионным и сорбционным переносом воздействовало на расходование воды из глубоких грунтовых вод. Автор считает, что величина этого переноса относительно невелика и составляет 150...250 м³/га, а подъем уровня грунтовых вод до смыкания с подвешенной влагой раскрывается из рассмотрения баланса прихода и расхода влаги в зону аэрации.

После установления профиля влажности в глубоких горизонтах, смыкания влаги капиллярной каймы и инфильтрации сезонные колебания влажности происходят при бороздковом поливе в значительно меньшем по глубине, но в более широком диапазоне, ограничиваясь по глубине слоем 80...100 см. При дождевании, как уже говорилось, параметры иссушения доходят до глубины 3 м.

Обработка имеющихся данных позволила получить зависимость продвижения фронта увлажнения в первый год орошения и в последующие (от 2 до 5 лет):

$$h_1 = 1{,}7\sqrt{Kt}; \qquad h_t = (h_1 + 0{,}5)\,\tau^{-0{,}582}; \tag{26}$$

$$n = 0{,}964 \pm 0{,}113; \qquad n = 0{,}857 \pm 0{,}087,$$

где τ — суммарная продолжительность полива, сут; h_1 — глубина продвижения фронта увлажнения в первый год орошения; h_t — то же в последующие годы; n — корреляционное отношение.

Может иметь место и обратное явление, например в гидроморфных условиях, когда вследствие искусственной дренированности ранее неорошаемых земель уровень грунтовых вод и соответственно влажность зоны аэрации несколько снижаются. Таким образом, изменение влажности зоны аэрации зависит от естественных гидрогеологических условий, техники полива и тех инженерных мероприятий, которые намечаются для усиления дренированности земель.

Орошение обычно оказывает положительное влияние на уменьшение минерализации грунтовых вод, так как минерализация инфильтрующихся вод при поливах, промывках, потерях из каналов обычно меньше минерализации естественных грунтовых вод. В то же время могут иметь место факты и увеличения минерализации грунтовых вод при переходе от автоморфного режима глубоких грунтовых вод к полуавтоморфному, а также в том случае, если оросительной нормы недостаточно для создания промывного режима.

Для того чтобы минерализация грунтовых вод устойчиво уменьшалась, необходимы достаточная дренированность и промывной режим орошения, которые можно определить из уравнения водного баланса грунтовых вод с учетом их минерализации, а также оросительных и дренажных вод:

$$DC_{д} \geqslant \left[O_{р}\frac{(1-\eta_{с})\,d_1'' + (1-\eta_{mn})\,\eta_{с}d_2''}{\eta_{с}} + M + \alpha O_{с}\right] C_{и} \pm$$

$$\pm\left[\frac{\Sigma\Delta\Pi}{F} - \frac{\Sigma\Delta O}{F} - U_{гр}\right] C_{гр} \pm \frac{\Delta P}{F} C_{пер}. \qquad (27)$$

где $C_{д}$ — минерализация дренажных вод; $C_{и}$ — то же, инфильтрационных вод; $C_{гр}$ — то же, грунтовых вод; $C_{пер}$ — то же, пересыхающих вод.

В результате последовательного решения этого уравнения получим продолжительность стабилизации минерализации грунтовых вод в период освоения. Здесь, как видно, величина требуемого дренажного стока будет зависеть от гидрогеологических условий в виде «притока-оттока», исходной минерализации грунтовых вод и испарения из грунтовых вод как функции уровня их от поверхности.

В качестве примера приведем динамику минерализации грунтовых вод в совхозе № 31 им. Хамида Алимджана новой зоны Го-

лодной степи. Здесь орошение начато в 1971 г. на площади 1 200 га и постепенно в течение 5 лет освоены земли всего совхоза. Территория расположена в междуречье Клы-Токурсая, являющейся низкой речной террасой. Луговые сероземы сильно засолены, местами осолонцованы. Грунтовые воды в исходном состоянии характеризуются высокой минерализацией (12...80 г/л по плотному остатку) сульфатно-хлоридно-натриевого типа при близком (1,2...5 м) залегании от поверхности земли.

Закономерности изменения солевого состава грунтовых вод при достаточной искусственной дренированности приведены в таблице 28. Плотный остаток Cl, SO_4, Na снижается очень резко, Mg, Ca и HCO_3 изменяются незначительно. Некоторое увеличение наблюдалось только в 1975 г., когда в течение двух маловодных лет оросительная норма была меньше или близка к дефициту испаряемости, а промывная норма не создалась.

Совершенно другая картина при глубоком залегании грунтовых вод, которые постепенно поднимаются к поверхности (совхоз № 13, Голодная степь). До смыкания грунтовых и поверхностных вод минерализация в целом и по всем показателям увеличивается. Характерно уменьшение сильноподвижного иона Cl′ в связи, видимо, с созданием местного бугра до смыкания.

Орошение, устраняя основной бич пустынь и полупустынь — недостаток влаги, сильно активизирует все обменные процессы экосистемы. Как отмечает Н. И. Базилевич (1979), в экосистемах пустыни соотношения между запасами веществ в блоках и интенсивностью обменных потоков узкие из-за низкой продуктивности пустынь, недостатка влаги, более высокого содержания в единице растительного вещества азота и элементов минерального питания. По ее мнению, эти экосистемы отличаются нескомпенсированностью входных потоков над выходными, накоплением постоянных химических элементов, что повышает опасность засоления почв и опустынивания земель. При создании искусственного орошения и (что не менее важно) дренажа экосистема пустыни резко активизирует скорости обменных процессов и может стать близкой к сбалансированной, если правильно регулировать потоки минеральных веществ, переносимых с водой. Таким образом, само орошение уже приводит к резкой активизации солеобмена в почве. Одновременно к изменению минерализации почв приводят и вторичные процессы орошения, в частности изменение минерализации грунтовых вод.

Связь засоления почв по составу и минерализации грунтовых и поливных вод детально рассмотрена В. А. Ковдой (1958).

Для Средней Азии характерно засоление почв сульфатно-хлоридное и других типов, но присутствие значительного количества гипса спасает почвы от опасности осолонцевания. Однако в связи с интенсивным дренированием земель возникает опасность вымыва гипса из активной толщи и подтяжки солей натрия из глубоких горизонтов. Одновременно с уменьшением гипса в почвах снижается его содержание и в оросительной воде, еще более усиливая опасность осолонцевания.

28. Изменение минерализации грунтовых вод при орошении, г/л (данные автора и Голодностепстроя)

№ совхоза и точки	Состав соли	Год						
		1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979
31 (131)	Плотный остаток	12,300	10,900	14,120	8,810	9,860	8,210	5,850
	Cl	1,260	0,980	1,360	0,910	0,800	0,840	0,455
	SO_4	5,860	4,488	6,670	3,760	3,300	3,020	2,810
	Ca	0,036	0,024	0,048	0,028	0,030	0,040	0,020
	Mg	0,600	0,609	0,643	0,437	0,529	0,317	0,219
	Na	3,120	2,200	2,530	2,090	1,940	1,760	1,520
	HCO_3	0,450	0,360	0,300	0,560	0,360	0,320	0,310
31 (329)	Плотный остаток	31,390	20,930	24,610	17,640	8,150	6,840	5,070
	Cl	3,045	1,750	2,120	0,950	0,390	0,410	0,455
	SO_4	16,700	12,120	14,600	10,800	5,280	4,110	2,850
	Ca	0,100	0,380	0,384	0,380	0,370	0,310	0,220
	Mg	1,480	0,900	0,980	0,630	0,490	0,410	0,340
	Na	7,800	4,300	4,600	4,200	1,500	1,260	0,820
	HCO_3	0,310	0,280	0,490	0,300	0,190	0,260	0,350
13 (13—1)	Плотный остаток	9,330	11,200	10,810	10,470	10,610	11,400	13,580
	Cl	3,360	3,850	3,390	2,970	3,220	2,450	1,610
	SO_4	3,760	3,810	3,170	3,610	3,620	5,011	6,430
	Ca	0,580	0,540	0,520	0,390	0,440	0,360	0,340
	Mg	0,550	0,590	0,490	0,500	0,560	0,500	0,550
	Na	2,910	2,640	2,530	2,300	2,280	2,660	2,510
	HCO_3	0,110	0,091	0,091	0,055	0,061	0,073	0,109
13 (13—16)	Плотный остаток	9,230	10,160	11,940	13,420	13,970	13,760	15,360
	Cl	6,160	5,700	4,910	4,550	4,200	4,270	9,850
	SO_4	2,120	2,290	2,800	3,670	4,890	5,000	5,420
	Ca	0,056	0,040	0,080	0,140	0,240	0,280	0,320
	Mg	0,372	0,566	0,601	0,571	0,536	0,612	0,683
	Na	3,710	3,640	3,565	3,841	3,920	3,301	3,480
	HCO_3	0,160	0,134	0,196	0,120	0,101	0,097	0,109

Резкое качественное изменение химизма грунтовых вод и направленности солевого обмена между водами и почвами в опасную сторону иногда возможно в зонах с активным водообменом зоны аэрации и грунтовых вод, например при интенсивном дренировании из глубоких горизонтов с помощью вертикального дренажа или при откачках оросительной воды для целей орошения. При смешении для орошения оросительных и подземных вод такая опасность невелика, но при орошении только подземными водами резкое повышение минерализации, особенно в локальном масштабе, может проявиться очень быстро, особенно при создании сосредоточенных подсосов из глубоких сильноминерализованных рассолов вдоль скважин вертикального дренажа. Например, в 1977—1979 гг. при орошении из скважин 4,5 тыс. га (Аштская степь I очередь) минерализация местами поднялась с 0,6...1 до 2...4,5 г/л.

При орошении первично засоленных, но естественно дренированных земель происходит рассоление их вследствие подачи оросительной воды.

Такого же эффекта можно добиться и при рассолении первично засоленных земель в условиях недостаточной дренированности за счет создания искусственного дренажа необходимой интенсивности, например новая зона Голодной степи (табл. 29).

Чтобы процесс соленакопления шел в нужном положительном направлении, снижая запасы солей в зоне аэрации, необходимо с помощью дренажа и оросительной нормы определенной величины обеспечить условия уменьшения запасов солей. При этом исходят из солевого баланса зоны аэрации за ряд лет освоения T:

$$S_0\Big|_0^{\delta} - \sum_0^T \{O_р(t)\,\eta_{mn} C_{ор}(t) + O_с(t)\,C_{ос}(1-\alpha) - S_{ур}(t) + U_г(t)\,C_г(t) - [O_р(t)\,(1-\eta_{mn})\,d_2'' + M(t) + O_с(t)\,\alpha]\,C_н(t)\} \leqslant [S_д]_0^{\delta}, \quad (28)$$

где S_0 — начальные запасы солей в корнеобитаемой зоне глубиной δ; $C_{ор}$ — минерализация оросительной воды; $C_{ос}$ — минерализация осадков; $S_{ур}$ — вынос солей с урожаем; $[S_д]$ — допустимое солесодержание.

Из формулы (28) может быть определен период опреснения T почвогрунтов зоны аэрации до необходимых пределов рассоления $S_д$.

29. Ориентировочный баланс воды и солей на 1 га орошаемых земель в Голодной степи

Показатель	Год										
	1966	1967	1968	1969	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976
Водный баланс, тыс. м³											
Осадки	2,22	2,57	3,24	5,71	2,86	2,92	2,46	3,12	2,28	2,49	2,81
Оросительная вода	8,64	9,54	7,50	6,28	8,2	10,60	8,95	9,03	6,89	7,11	8,90
Приток извне	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12
Итого приход	10,98	12,23	10,86	12,11	14,48	13,64	11,43	12,27	9,29	9,72	11,83
Дренажный отток	0,50	0,82	0,94	1,32	1,18	2,22	1,85	2,31	1,10	0,96	1,65
Сбросы в невегетации	0,41	0,33	0,48	0,40	0,38	0,51	0,28	0,36	0,12	0,10	0,46
Эвапотранспирация	7,62	8,10	8,20	8,55	8,90	9,02	8,50	8,86	7,95	8,02	8,96
Увеличение влажности	1,00	1,40	0,83	0,98	0,61	0,82	0,60	0,84	0,46	0,54	0,72
Изменение грунтовых вод	1,08	1,14	0,35	0,89	0,36	0,66	0,53	0,77	0,12	0,21	0,40
Итого отток	10,61	11,79	10,80	12,14	11,43	11,53	11,66	12,70	9,75	9,80	12,19
Солевой баланс, т											
Поступление	7,30	13,50	10,00	6,00	8,90	11,55	10,10	12,40	7,10	7,30	8,00
Отвод	6,70	9,90	11,10	17,50	13,00	16,95	17,10	17,00	7,50	7,80	12,10
Итого	+0,60	+3,60	−1,10	−11,50	−4,10	−5,40	−6,00	−4,60	−0,40	+0,50	−3,90

Период опреснения почвогрунтов зависит обычно от исходного засоления, но он намного меньше, чем период стабилизации минерализации грунтовых вод.

Любые изменения в территориальном водном и солевом циклах под влиянием динамики орошения в целом и в отдельных его составляющих приводят к изменению интенсивности солевого режима грунтовых вод и почв и одновременно влияют на бассейновый цикл. Реконструкция оросительных систем, приводя к изменению воздействующих факторов — КПД системы и техники полива, уровня грунтовых вод и т. д., одновременно влияет на характер, режим и минерализацию воды в реке путем изменения состава возвратных вод.

ВЗАИМОВЛИЯНИЕ ГИДРОЛОГИЧЕСКОГО РЕЖИМА РЕК И ТЕРРИТОРИАЛЬНЫХ БАССЕЙНОВЫХ ЦИКЛОВ

Динамика режима рек в основном определяется регулированием их стока, формированием возвратных вод, водоотборами из реки и изменением стокоформирующей зоны.

Регулирование стока рек приводит в первую очередь неуправляемый режим рек во времени и по объему к необходимому для водопотребления. В результате перехвата паводковых вод вероятность их прохождения в больших размерах снижается, уменьшаются площадь затапливаемой поймы и уровни в реке ниже водохранилищ. Вследствие этого снижается непродуктивное испарение и создается возможность освоения пойменных земель устройством траверсных дамб и польдеров. Но регулирование стока приводит и к некоторым нежелательным явлениям.

Накопление воды в водохранилищах, особенно многолетнего регулирования, переосветляет воду, подаваемую на орошение. Последствие этого явления — прекращение подачи кольматанта на поля и в каналы, увеличение размывающей и инфильтрационной способности воды. В результате возрастают потери воды на поле и в каналах на инфильтрацию, снижается КПД систем, наблюдаются размывы установившихся в гидравлическом отношении сечениях каналов, а следовательно, увеличиваются объемы ремонтно-эксплуатационных работ.

Другая крупная проблема — переохлаждение воды в глубоких чашах водохранилищ и поступление на поля воды из нижних горизонтов с температурой 13...15 °С. При таких температурах воды развитие растений значительно отстает от нормального.

Наконец, третья серьезная проблема в полностью зарегулированных стволах рек — это размещение наносов по длине реки и особенно у водозаборов. Не претендуя на всесторонние рекомендации в условиях таких рек, тем не менее следует подчеркнуть необходимость разработки специальных мероприятий по управлению каскадно-зарегулированными реками. В частности, рекомендуется не улавливать все наносы в водохранилищах, устраивать специальные каналы мутной воды в обвод водохранилищ, пропускать наносы в паводок транзитом через водохранилища. Кроме того, необходимо не переосветлять воду в водохранилищах и каналах оросительных систем, так как почвы орошаемых земель будут лишены питательных элементов.

Поэтому целесообразно обеспечить скорость в каналах 0,7...1,2 м/с — оптимальную для транспортировки основной массы взвешенных наносов. Одновременно с завершением строительства водохранилищ многолетнего регулирования необходимо провести антифильтрационные работы на оросительной сети. Для отбора теплой воды из водохранилищ вместо холодной целесообразно применять специальные конструкции водозаборов шахтного типа либо плавучие сифоны с верхним отбором воды, что также будет способствовать уменьшению испарения из водохранилищ.

Развитие орошения влияет на сток рек из-за отбора пресной воды и изменения характера возвратных вод. Под возвратными водами подразумеваем все подземные и поверхностные, естественные и возвращающиеся с деятельной территории к водному источнику (реке, водохранилищу, естественной впадине, озеру), из которых они могут быть повторно использованы.

Возвратные воды мы делим на возвращающиеся непосредственно в источник и невозвращающиеся. Последние могут быть использованы в дальнейшем при сооружении специальных водозаборов.

Возвратные воды образуются в реке и до орошения в виде подруслового стока. Величину этого стока можно

определить по формуле

$$П_{п} = \sum_{0}^{n} F_i q_{ei},$$

где F_i — функция площади, дренируемой рекой непосредственно; q_{ei} — дренажный модуль естественного подземного притока с этой территории.

Даже если бы этот возвратный сток не увеличивался, минерализация стока реки в конечном створе массива увеличилась бы до величины

$$C_{о}' = \frac{(W_{о} - W_{ор}) C_{о} + W_{во} C_{во}}{W_{о} - W_{ор} + W_{во}}. \qquad (29)$$

Так как минерализация возвратного стока больше минерализации речного: $C_{во} > C_{о}$, то $C'_{о} > C_{о}$. Фактически изменение будет больше, так как при орошении уровни грунтовых вод в среднем по массиву увеличиваются и, кроме того, в реку подаются сбросные воды и часть дренажных. В результате изменение минерализации речного стока определится как

$$C_{о}' = \frac{(W_{о} - W_{ор} - W_{п}) C_{о} + W_{во} C_{в_1} + W_{п} \lambda_{п} C_{п}}{W_{о} - W_{ор} + W_{во} - W_{п} (1 - \lambda_{п})}. \qquad (29а)$$

где $C'_{о}$ и $C_{о}$ — минерализация воды в расчетном створе реки после и до развития орошения; $C_{п}$ — минерализация промышленного возврата; $W_{о}$ — сток в расчетном створе; $W_{п}$ и $W_{ор}$ — промышленное и оросительное водопотребление; $\lambda_{п}$ — коэффициент возврата промышленных вод; $W_{во}$ — возвратные воды; $C_{во}$ — их минерализация.

При определении величины возвратных вод учитывают как характеристики орошаемой территории, наиболее влияющие на возвратный сток (КПД и дренажный модуль системы), так и естественные факторы возвратных вод (характер долины, водность года). Имеется в виду, что возвратные воды могут быть разделены на естественные, образуемые притоком в гидрографическую сеть как в природную дрену с площади зоны влияния, и на искусственные, возникающие в результате дренирования водосборной площади коллекторами, дренами и направления дренажных вод с них обратно в реку как в водоприемники.

От собственно возвратных вод неотделимы сбросные, поступающие из оросительных систем по сбросным трактам или непосредственно с полей. Действительно, дре-

нажные и сбросные воды, поступая в водоприемные коллекторы, смешиваются и сбрасываются как единое целое в гидрографическую сеть. Формирование объема оросительных возвратных вод можно представить формулой

$$W_{воз} = П_п + D + C, \quad (30)$$

где $П_п$ — подрусловой приток; D, C — соответственно дренажный и сбросной сток.

Приток зависит от гидрогеологического строения русла и бассейна, а также мелиоративных условий местности, которые в основном стабильны во времени и изменяются только под влиянием динамики грунтовых и подземных вод на дренируемой территории, и, следовательно, меньше всего сказываются на них антропогенные процессы.

Дренажный сток определяется искусственной дренированностью территории и видом дренажа, а сбросной — характером поливной техники, состоянием и качеством поливов, степенью совершенства оросительной сети. Подрусловую приточность определяли как разницу между суммарным объемом возвратных вод, определенных балансовым методом, и учтенным стоком сбросных и дренажных вод.

Анализ, проведенный на основании обработки материалов САНИИРИ на примере долин Ферганской и Зеравшана, показывает, что между отношением подрусловой приточности к бытовому стоку и водностью года имеется параболическая зависимость

$$П_п = W_0 (a_1 p^2 + a_2 p + a_3), \quad (31)$$

где p — процент обеспеченности стока года; a_1; a_2; a_3 — коэффициенты, характерные для каждого балансового участка реки.

Для Ферганской долины и Зеравшана коэффциенты составили соответственно 0,158 и 0,224; 0,782 и 0,07; 0,035 и 0,1676.

Параболический характер этой зависимости с минимумом лет 35...60%-ной обеспеченности вполне объясним.

В годы большой водности, как правило, наблюдается возрастание притока и одновременно подъем уровней воды в русле, но увеличение притока опережает уменьшение напора от их подъема. При минимальных расхо-

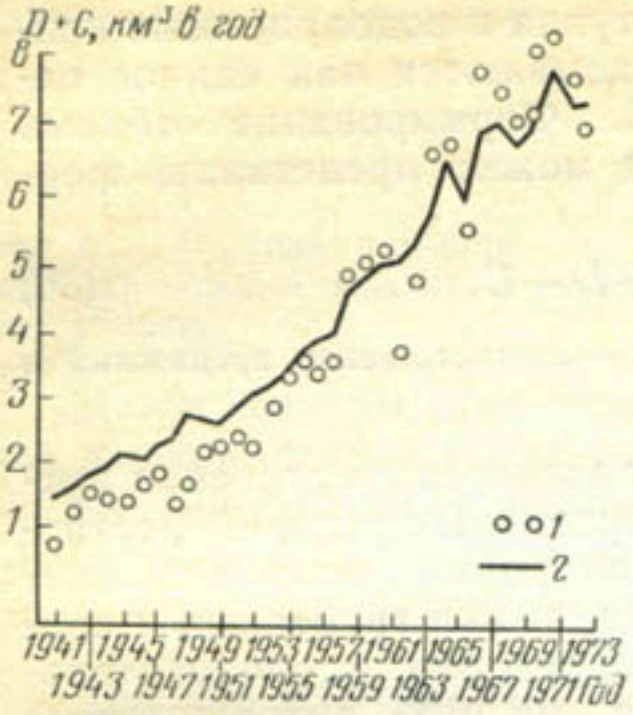


Рис. 28. Фактические и расчетные величины антропогенной части возвратного стока Ферганской долины:

1 — фактические величины; *2* — расчетные.

дах воды в реке, наблюдаемых в годы малой водности (80%-ной обеспеченности), уровни воды в них снижаются так сильно (по Ферганской долине это снижение достигало 2,5...3 м), что увеличивается приточность непосредственно к руслу за счет сработки уровней воды на массиве, хотя поступление воды к деятельной территории со стороны гор минимально.

При этом в отличие от первоначальных исходных предпосылок установлено, что некоторые антропогенные факторы, особенно в очень маловодные годы, также влияют на приток. В частности, резкое увеличение отбора подземных вод из скважин в такие периоды приводит к снижению подрусловой приточности.

Сток складывается из сбросных и коллекторно-дренажных вод и целиком зависит от техники полива, КПД системы, степени дренированности и типа мелиоративного режима.

В общем случае две антропогенные составляющие возвратных вод выразятся, м³/га в год:

$$D+C=\frac{O_p[(1-\eta_{mn})\,\eta_c\,(d_2''+d_2''')+(1-\eta_c)\,(d_1''+d_1''')]}{\eta_c}+$$

$$+M-U_г-\Delta\theta\,10\,000z. \qquad (32)$$

Изменение запасов влаги за год для староорошаемых земель можно принять равным нулю, его необходимо учитывать лишь для новоорошаемых земель с исходными глубокими грунтовыми водами.

Величина $(M-U_г)$ зависит от уровня грунтовых вод, степени засоления почвогрунтов по данным мелиоративной службы и является стабильной для каждого мелиоративного режима.

30. Прогноз объема и качества возвратных вод и вод реки Сырдарьи в пределах Ферганской долины

Показатель	Год и вариант					
	1980		1985		1990	
	I	II	I	II	I	II
Бытовой сток ($км^3$) обеспеченностью:						
50%	25,4	25,4	25,4	25,4	25,4	25,4
90%	19,6	19,6	19,6	19,6	19,6	19,6
Оросительный водозабор, $км^3$	15,01	15,01	16,09	16,09	16,72	16,72
Водозабор на промышленные и бытовые нужды, $км^3$	1,58	1,58	2,00	2,00	2,65	2,65
Возвратные воды русловые ($км^3$) обеспеченностью:						
50%	0,56	0,56	0,56	0,56	0,56	0,56
90%	2,32	2,32	2,32	2,32	2,32	2,32
Возвратные коллекторно-дренажные воды, $км^3$	5,24	2,12	4,47	1,66	3,41	1,17
Суммарные возвратные воды ($км^3$) обеспеченностью:						
50%	5,80	2,67	5,03	2,32	3,97	1,83
90%	7,56	3,48	6,75	3,02	5,73	2,64
Возврат промышленных и бытовых стоков, $км^3$	0,68	0,68	0,84	0,84	1,02	1,02
Сток реки в створе Кайраккума ($км^3$) обеспеченностью:						
50%	15,29	15,29	13,18	13,18	11,02	11,02
90%	11,25	11,25	9,10	9,10	6,98	6,98
Минерализация стока (г/л) обеспеченностью:						
50%	1,20	0,81	1,33	0,84	1,48	0,98
90%	1,47	1,00	1,75	1,09	2,18	1,20
Для сравнения						
Сток в створе Кайраккума ($км^3$) (по Н. И. Прохоренко) обеспеченностью:						
50%	17,47	17,47	14,50	14,50	—	—
90%	11,20	11,21	9,28	8,28	—	—
Сток 90%-ной обеспеченности по схеме реки Сырдарьи, $км^3$			13,82	13,82	14,54	14,54
Сток 50%-ной обеспеченности (по Федорову), $км^3$	18,44	—	18,17	—	17,89	—
Минерализация стока 90%-ной обеспеченности по схеме реки Сырдарьи, г/л	—	—	1,30	0,83	1,6	0,81

Сопоставление динамики антропогенной части возвратных вод Ферганской долины, полученной по расчетным зависимостям и по натурным данным, приведено на рисунке 28. Пользуясь выражением (32), можно прогнозировать величину возвратных вод с учетом изменения не только КПД техники полива и системы, но и оросительной нормы, дренажного стока, изменения мелиоративного режима, внутрисистемного использования дренажных вод и т. д.

В настоящее время водохозяйственные работы характеризуются не только повышением КПД систем, совершенствованием техники полива, но и внедрением новых видов дренажа, уменьшением мелиоративного водопотребления. Все эти факторы влияют на величину и формирование возвратных вод. Приведенная методика позволяет учитывать все эти изменения, дает возможность оценивать различные варианты использования возвратных вод.

В качестве примера приведем расчет прогноза возвратных вод по Ферганской долине (река Сырдарья) и влияние их на минерализацию стока реки Сырдарьи при различных вариантах использования (табл. 30).

В расчете принято два варианта использования возвратных вод: I — все возвратные воды, сформировавшиеся в пределах части бассейна, отводятся в реку; II — определенная часть возвратных вод используется на орошение внутри систем, остальная сбрасывается в реку.

Одновременно с изменением КПД системы и техники полива по годам в соответствии со схемой Сырдарьи предусмотрено изменение мелиоративного режима за счет совершенствования дренажа — перехода от полугидроморфного режима к полуавтоморфному ($q_{др}/q_{ор}$) в 1980 г. — 0,28 вместо 0,35 в 1972—1975 гг., в 1985—0,22, в 1990 г. — 0,15.

Прогноз показывает, что совершенствование техники полива, увеличение КПД систем и изменение мелиоративного режима приводят к снижению доли возвратных вод к водозабору от 48% в 1975 г. до 42% в 1980 г., до 35% в 1985 г.

Минерализация в реке систематически будет повышаться сверх предельно допустимых концентраций (ПДК), и только увеличение использования части возвратных вод внутри систем позволит удержать минерализацию воды в реке ниже ПДК.

ВЫБОР МЕТОДОВ УПРАВЛЕНИЯ ПРИРОДНЫМИ ПРОЦЕССАМИ

Рассмотрение по видам предложенных типов изменений природных условий позволяет определить период стабилизации каждого из них (табл. 31). Раститель-

31. Основные характеристики и период стабилизации изменений природных условий под влиянием орошения в аридной зоне

Изменения природных условий	Вид изменения	Период стабилизации, лет
Растительности	Стабильные слабоуправляемые	2...3
Микроорганизмов	То же	3...5
Климата:		
температура воздуха	»	5
влажность воздуха	Стабильные управляемые	5
сила ветра	То же	9...16
Стока рек	»	5...25
Влажности почвогрунтов зоны аэрации	»	3...20
Почвенного покрова	»	7...25
Уровня и режима грунтовых вод	»	3...25
Минерализации грунтовых вод	»	5...30
Минерализации речной воды	»	5...30
Запасов солей зоны аэрации	»	3...25
Плотности грунтов, осадков, просадки	»	3...30

ность, температура и влажность воздуха изменяются в основном быстро и мало зависят от исходной природной обстановки и особенностей ландшафта.

Остальные изменения имеют продолжительность стабилизации от 5 до 30 лет даже при правильных инженерных решениях. Все эти медленно стабилизирующиеся изменения, в основном управляемые, зависят от особенностей ландшафта, исходной обстановки и комплекса осуществленных мелиоративных мероприятий.

В связи с проектными работами по межбассейновым переброскам был сформулирован метод ландшафтного проектирования, позволяющий получить интегральную оценку воздействия мелиоративных мероприятий на природную среду. Ландшафтное прогнозирование основывается на анализе состояния природного фона к началу осуществления проекта и естественных тенденций его развития, выявления вероятных изменений ландшафта под влиянием проекта и разработки мероприятий по рациональному природопользованию, а также на выделении типовых природных таксономических единиц для охватываемой территории.

При этом необходимо учитывать, что комплекс осуществляемых мероприятий и мелиораций ни в коем случае не должен быть трафаретным или стандартным.

Автор предлагает сконцентрировать основные типичные условия новых массивов орошения и классифицировать их для целей орошения, рассмотрев типичные условия для каждого вида изменения природной обстановки. Затем, пользуясь этой классификацией, наметить целенаправленные меры по созданию благоприятной экологической среды на орошаемых массивах.

За основу возьмем классификацию орошаемых территорий, разработанную Л. В. Дунин-Барковским (1976) для пустынной зоны. Эта классификация учитывает различия в высотных, гидрологических, геоморфологических характеристиках территорий, подразделяя их на пояса: горный, подгорных равнин и пустынных низменностей. В классификации дана и потребность в мелиорации.

Так как современный уровень знаний позволяет расширить и детализировать рекомендации по мелиорации, то автор принимает от этой классификации только геоморфологические и гидрологические характеристики. Причем гидрогеологические особенности массивов орошения дополнены рядом групп и типов по Д. М. Кацу, В. А. Ковде и В. В. Егорову, а также Н. М. Решеткиной и А. А. Рачинскому (1964) по принципам выделения таксономических единиц при мелиоративных классификациях земель.

Для каждого геоморфологического и гидрогеологического типа ландшафта с учетом их характерных особенностей подобраны на основе систематизации (табл. 28) и положенных в ее основу работ класс почв до орошения и возможная направленность развития почвообразовательного процесса по мере орошения. При этом исходим из положений, высказанных В. А. Ковдой, И. П. Герасимовым, В. В. Егоровым, что тип почв из-за их генетики определился гидрологическими и геоморфологическими особенностями ландшафта, а поэтому определенным геоморфолого-гидрогеологическим разностям соответствуют определенные типы почв.

В соответствии с выбранным типом почвообразовательного процесса и остальными условиями устанавливаем направление мелиоративного режима (см. гл. IV).

В результате систематизации изменения природных условий под влиянием орошения для выбранных таксономических единиц составлена классификация земель (табл. 32) с направлением нестабильных управляемых изменений экологической сферы, детально описанных выше.

Используя таблицу 31 и рисунок 21, можно ориентировочно установить вид мелиоративного режима, который необходимо формировать при орошении, и соответствующие инженерные решения в виде антифильтрационных мероприятий и техники полива.

На основе обобщения имеющихся данных в различных таксономических единицах и приведенных расчетных зависимостей систематизированы для этих условий не только основные типы управляемых изменений, но и период их стабилизации (табл. 32). Анализ показывает, что для тех ландшафтов, где представляется наиболее целесообразным сохранение направленности естественных процессов, включая естественный мелиоративный режим и естественный почвообразовательный процесс, период стабилизации при соответствующих технических решениях составляет 7...12 лет (зона Iа, б, в, г; IIг, е; IIIж, з, и), в остальных случаях затягивается до 15... 25 лет и даже 30 лет. Это наряду со временем создания экологических связей и производственной сферы ТПК является определяющим в сроке завершения этих комплексов как нижней ступени ВХК.

СУММАРНОЕ ИЗМЕНЕНИЕ РЕЧНОГО СТОКА ПОД ВЛИЯНИЕМ ОРОШЕНИЯ

Современные модели водного баланса речных бассейнов в сочетании с анализом изменений природной обстановки в бассейне по приведенным выше зависимостям позволяют оценить изменение стока рек под влиянием орошения с учетом динамики климатических, гидрогеологических и мелиоративных параметров.

Если принять за основу, например, рекомендации по оценке водного баланса («Методические указания», В. И. Бабкин), то суммарный баланс для территории водосборной площади при введении предложений автора по возвратным водам (включая их членение), приведенный к любому створу реки, составит:

32. Классификация земель аридной зоны по геоморфологическим, признакам и направление нестабильных

Характеристика и свойства геоморфологической зоны по Л. В. Дунин-Барковскому		Пока				
		осадки, м³/га	подземный отток, тыс. м³/га	подземный приток, тыс. м³/га	исходное положение УГВ	время стабилизации УГВ, лет
Горный						
Конусы выноса	*а*	—	>3	—	Глубокое	2...5
Склоны	*б*	2,2...6,0	>3	—	Глубокое	3...10
Речные террасы:						
высокие	*в*	2,2...6,0	>3	—	Глубокое	2...5
низкие	*е*	2,2...6,0	<0,6	2...4	Близкое	3...7
Предгорные						
Конусы выноса:						
вершина	*а*	—	>3	—	Глубокое	7...26
зона выклинивания	*б*	—	<0,5	1...5	Близкое	3...7
периферия	*в*	2,0...5,0	<0,5...1,5	0...5	Различное	5...10
Речные террасы:						
высокие	*г*	2,0...5,0	>3	—	Глубокое	2...5
низкие	*д*	2,0...5,0	<0,5	0...4	Различное	3...7
Волнистые плато:						
склоны	*е*	2,0...5,0	1,5...3	—	Глубокое	2...5
межадырные впадины	*ж*	2,0...5,0	<0,5	1...5	Близкое	5...7
водораздельные массивы	*в*	2,0...5,0	1,5...3	—	То же	5...10
Пустынные						
Дельты						
Приморские:						
древние	*а1*	0,5...2,5	0,5...1,5	0...3	Глубокое	5...15
современные	*а2*	0,5...2,5	<0,5	0...5	Близкое	7...15

гидрологическим, почвенным и инженерно-мелиоративным управляемых изменений

затели								
минерализация грунтовых вод				Исходное засоление*	Мелиоративный режим***		Продолжительность почвообразовательного процесса, лет**	Стабилизация просадок, лет
исходная, г/л	изменение при орошении без дренирования	изменение при орошении и дренировании	время стабилизации, лет		исходный	предлагаемый		
пояс I								
<3	—	—	3...5	—	а	а	$\frac{7}{20}$	3...5
<3	—	—	<10	—	а	а, па	7...10	—
<3	—	—	3...5	—	а	а	7...10	—
<3	—	—	5...10	—	г, пг	пг	7...10	—
равнины II								
<3	—	—	10...30	—	а	па	$\frac{9}{12...15}$	—
3...5	Увеличение	Уменьшение	7...20	+	г, пг	па	7...12	—
>5	То же	То же	10...25	+	пг, па	па	$\frac{10...12}{15...20}$	—
<3	—	—	3...7	—	а	а	—	5...12
3...5	Увеличение	Уменьшение	5...10	—	па, пг	пг	$\frac{7...12}{15...20}$	—
3...7	То же	То же	3...7	—	а	а	—	5...10
3...5	»	»	7...15	+	пг	па	$\frac{10...12}{15...25}$	—
2...7	»	»	10...20	+;—	пг, па	па	$\frac{10...12}{15...25}$	—
низменности III								
>5	Увеличение	Уменьшение	10...20	+	па, а	па	$\frac{9...15}{18...25}$	—
>7	То же	То же	10...20	+	пг, г	па	$\frac{9...15}{18...25}$	—

Характеристика и свойства геоморфологической зоны по Л. В. Дунин-Барковскому		Пока				
		осадки, м³/га	подземный отток, тыс. м³/га	подземный приток, тыс. м³/га	исходное положение УГВ	время стабилизации УГВ, лет
Сухие и субаэральные:						
верхняя часть	*б*1	0,5...2,5	0,5...3	0...2	Глубокое	5...20
средняя и нижняя части	*б*2	—	<0,5	2...5	Близкое	3...7
Аллювиальные						
Верхние	*в*1	—	>3	—	Глубокое	5...20
Нижние и средние	*в*2	1...3	0,5...3	0...1,5	Различное	5...10
Широкие слабодренированные	*г*	1...3	<1,5	0,5...3	То же	—
То же, абсолютно не дренированные	*д*	1...3	0	2...5	Близкое	7...20
Речные						
Денудационные, аккумулятивные	*е*	—	<0,5	1...5	То же	—
Высокие	*ж*	—	>2	—	Глубокое	5...10
Низкие	*з*	—	0,5...1,5	1...3	Различное	3...5
	и	—	<0,5	2...5	Близкое	3...5

* Плюс (+) означает да; минус (—) — нет.
** Числитель — при сохранении класса почв; знаменатель — при изменении.
*** Режимы: а — автоморфный; па — полуавтоморфный; г — гидроморфный;

Продолжение

затели								
минерализация грунтовых вод				Исходное засоление*	Мелиоративный режим***		Продолжительность почвообразовательного процесса, лет**	Стабилизация просадок, лет
исходная, г/л	изменение при орошении без дренирования	изменение при орошении и дренировании	время стабилизации, лет		исходный	предлагаемый		
3...7	Увеличение	Уменьшение	10...25	—	а	па	10...14 / 12...25	3...5
>5	То же	То же	3...15	+	па	па	10...14 / 12...25	—
равнины								
3...5	—	—	5...15	—	а	па	7...18 / 10...25	—
>5	Увеличение	Уменьшение	10...25	+;—	пг, па	па	7...18 / 10...25	7...20
>10	То же	То же	—	+	а, па	па	7...18 / 10...25	—
>10	—	—	10...25	+	пг, па	па	7...18 / 10...25	—
террасы								
>10	—	—	10...25	—	па, пг	па	7...18 / 10...25	—
<3	—	—	5...15	—	а, па	а	7...14	—
3...5	Увеличение	Уменьшение	3...10	+;—	пг	пг	7...14	—
>5	То же	То же	3...10	+;—	пг	пг	7...14	—

пг — полугидроморфный.

для определенного промежутка времени (год, сезон, месяц):

$$W_к = O_с + W_о - U_п + (\overline{П} - \overline{О}) - (E_т + U) - (M_п - M_к) \pm$$
$$\pm \mu \Delta h_г + (\underline{П} - \underline{О}) \pm W_б - W_{пот} - W_{пр}; \quad (33)$$

$$W_к = W_о + П_п + (D + C) - W_{вр} - W_{пот} \pm W_б - W_{пр}, \quad (34)$$

где $W_о$ — речной сток на границе зоны формирования, не затрагиваемый антропогенной деятельностью, рассматривается как величина неизменная под влиянием орошения и подверженная лишь закономерностям колебаний стока, так же как и осадки на водосборной площади ($O_с$). Правда, известно, что при особенно больших изменениях увлажненности территории как по площади (сотни тысяч гектаров), так и по размерам его, возможно увеличение и осадков на 7...15 мм в год, но при высокой испаряемости аридной зоны эта величина существенно не отразится на общем балансе водосборной территории бассейна; $П_п$ — подрусловая приточность; $U_п$ — испарение из неорошаемых территорий — перелогов.

Считали, что подрусловая приточность зависит только от обеспеченности стока и, видимо, от многолетнего регулирования. По мере изменения режима стока рек водохранилищами в многолетнем разрезе, особенно по мере приближения многолетнего режима к году 50%-ной обеспеченности, подрусловая приточность в зонах переформированных режимов должна стабилизироваться. Это видно на анализе стока последних лет по отдельным участкам реки Сырдарьи.

Испарение из неорошаемых и неосваиваемых территорий — перелогов будет изменяться с уменьшением их площади, изменением водного режима, а также климатических показателей. Особое значение здесь имеет изменение физического испарения при снижении площади затопляемых паводками мелководий, староречий, например, при регулировании стока снижение транспирации дикой гидрофитной растительности (камыш, тростник и т. д.). Аналогичное влияние будет иметь и понижение уровней грунтовых вод на неорошаемых территориях под влиянием общей искусственной дренированности, особенно при дренаже орошаемых земель с помощью вертикальных скважин.

В результате натурных исследований на различных участках реки Амударьи и использования карт аэрофотосъемки установлено, что общие потери стока на испарение с поверхности реки составили за многолетний период (с 1945 по 1969 г.) 4,7 км³ в год, в том числе: с

водной поверхности — 1811,7 млн. м³, с подтапливаемых зон — 2371,5, полупогружной растительностью — 466,3, с обнаженного ложа реки — 45,2 млн. м³.

Прибрежные зоны и мелководья испаряют в среднем на 23% больше, чем в открытой акватории водохранилищ (Б. Е. Милькис).

Регулирование стока рек, отсечение стариц обвалованием мелководий, дренирование осушенной поверхности системами польдеров и использование для выращивания сельскохозяйственных культур позволят снизить непродуктивные потери стока на испарение. Например, по реке Амударье потери на испарение могут быть сокращены на 2...2,5 км³ в год.

Эвапотранспирация при развитии орошения бесспорно возрастает, при этом величина ее (см. гл. IV) в значительной степени зависит от выбора сельскохозяйственной культуры, мелиоративного режима, принятого на орошаемом массиве, и степени совершенства оросительных систем. Она может быть определена и по приближенным зависимостям на основе степени увлажнения поверхности и испаряемости, как это рекомендуется М. И. Будыко, А. И. Будаговским, В. С. Мезенцевым.

Использование полученных данных изменения этих факторов позволяет определить динамику эвапотранспирации на конечный срок и в переходный период. Изменение запасов влаги в зоне аэрации при подъеме (или сработке) уровней грунтовых вод, детально рассмотренное выше, может быть использовано для установления и этих затрат стока.

Следует отметить, что последние два вида затрат стока при высоких темпах орошения земель довольно значительны. Так, для бассейна реки Сырдарьи за последние 10 лет при темпах ввода земель 40...60 тыс. га в год они колебались от 0,7 до 1,8 км³ в год.

Таким образом, рассмотрение динамики трансформации основных природных условий под влиянием орошения позволяет определить их воздействие на главные параметры речного стока — объем и качество, непродуктивные потери, а также разработать и осуществить комплекс мероприятий по управлению этими процессами в масштабах бассейна с целью максимальной эффективности использования естественных ресурсов воды.

Глава IV. ВОДОПОТРЕБЛЕНИЕ ОРОШАЕМЫХ ЗЕМЕЛЬ И ПУТИ ЕГО СНИЖЕНИЯ

ВОДОПОТРЕБЛЕНИЕ И МЕЛИОРАТИВНЫЕ РЕЖИМЫ

Мелиоративным режимом называют сочетание водоподачи на орошение с управляемыми с помощью дренажа (естественного и искусственного) уровнями грунтовых вод при определенных приемах агротехники, обеспечивающих необходимые условия влажности, аэрации, температуры, солесодержания и питания растений, для получения высоких урожаев сельскохозяйственных культур и повышения плодородия земель (Решеткина, Рачинский, 1964).

Относительное положение уровня грунтовых вод, определенное как $(h_г - \delta)/h_к$ — важнейший показатель мелиоративного режима, который наряду с другими показателями (минерализация грунтовых вод, вид растений, способ полива) определяет составляющие общего водопотребления, соотношение источников его удовлетворения и интенсивность солеобмена с грунтовыми водами ($h_г$ — глубина грунтовых вод; $h_к$ — высота капиллярного поднятия их; δ — глубина развития корневой системы). Действительно, при близком залегании грунтовых вод, когда все питание растений удовлетворяется за счет капиллярного подпитывания (гидроморфный режим), благодаря постоянному максимальному увлажнению суммарное водопотребление максимально, а оросительное равно нулю. Но даже при слабоминерализованных грунтовых водах в этом случае происходит максимальное соленакопление.

По мере увеличения относительной глубины грунтовых вод суммарное водопотребление уменьшается благодаря снижению средней влажности поверхности почвы и корнеобитаемого слоя, одновременно уменьшается испарение из грунтовых вод и интенсивность соленакоп-

33. Основные характеристики мелиоративных режимов

Мелиоративный режим	Характер взаимодействия с грунтовыми водами	Питание из грунтовых вод и мелиоративная доля		Относительная глубина грунтовых вод $(h_г-\delta)/h_к$
		$\frac{(E_m+U)_г}{(E_m+U)_z}$	промывная доля — отношение промывной нормы к оросительной β	
Автоморфный	Грунтовые воды не подпитывают оросительную влагу, инфильтрация идет свободно вниз	0	0	$\geqslant 1,2$
Полуавтоморфный	Грунтовые воды подпитывают инфильтрацию оросительной воды, но сами незначительно участвуют в питании растений	0...0,20	0...0,15	0,70...1,0
Полугидроморфный	Грунтовые воды активно участвуют в питании растений, преобладая над оросительной влагой	0,3...0,7	0,2...0,4	0,2...0,7
Гидроморфный	Питание растений в основном происходит за счет грунтовых вод	0,8	$>0,4$	0...0,2

ления. При различных мелиоративных режимах (табл. 33) меняется и характер корневой системы.

Известны различные методы определения водопотребления, которые можно систематизировать как эмпирические (СоюзНИХИ), воднобалансовые, основанные на биоклиматических методах (С. М. Алпатьев); воднобалансовые, в которых испарение определяют опытными данными (А. Н. Костяков, С. Н. Рыжов, С. Д. Лысогоров); воднобалансовые, опирающиеся на испаряемость (В. Р. Шредер).

В этих методах недоучитывается полный объем всего водопотребления, включая невегетационное, принят ограниченный расчетный слой почвы без влияния просачивания ниже корневой зоны в грунтовые воды, не учитывается наличие потерь в поле, включая их полезную долю.

Общее водопотребление, рассматриваемое как сумма оросительного и промывного, определяем, пользуясь выражением (16), а также балансом грунтовых вод (17) и балансом солей зоны аэрации.

Принимая, что изменение влажности зоны аэрации и уровней грунтовых вод за год должно быть равно нулю, для среднего уровня грунтовых вод $h_г = z$ получим уравнение водного баланса зоны аэрации, исходя из удовлетворения водопотребления на орошение:

$$(E_т + U)_{г.в} + O_с(1-\alpha) + O_р\eta_{mn} = (E_т + U)_z. \quad (35)$$

Для определения суммарного водопотребления $(E_т + U)_z$ расчленим его на физическое испарение и транспирацию, устанавливая при этом максимальные их величины, соответствующие предельной полевой влагоемкости ($E_{т_0}$ и U_0) и отличные от них величины $E_т(\theta)$ и $U(\theta)$, изменяющиеся в зависимости от степени увлажнения.

В САНИИРИ на основе многолетних воднобалансовых наблюдений в Голодной и Каршинской степях, Хорезме, Ферганской долине и Каракалпакии проведены исследования по определению суммарного водопотребления.

Обычно в расчетах суммарного водопотребления за основу берут испаряемость, определяемую по Н. И. Иванову или другим методом. Многочисленные опыты и наблюдения сотрудников САНИИРИ в аридной зоне показывают, что максимальное суммарное водопотребление, соответствующее влажности при ППВ, часто превышает испаряемость (рис. 29).

Максимальное суммарное испарение можно получить, если нанести точки испарения и транспирации во время полива и по ним провести огибающую кривую. Интегральная сумма ежедневных ординат и даст величину эвапотранспирации. Кривая максимального суммарного испарения в период интенсивного развития растительного покрова (для хлопчатника с первой декады июля по вторую декаду августа) располагается выше кривой испаряемости, а вне этого периода — ниже на 15...23%. Максимум достигается 15...25 июля, что вполне закономерно, так как при влажности, близкой к 100% ППВ, на максимальное физическое испарение накладывается максимальная транспирация растением, что, как известно, не соответствует оптимальным условиям их развития.

Таким образом, в аридной зоне оценка суммарного испарения по испаряемости в период максимального во-

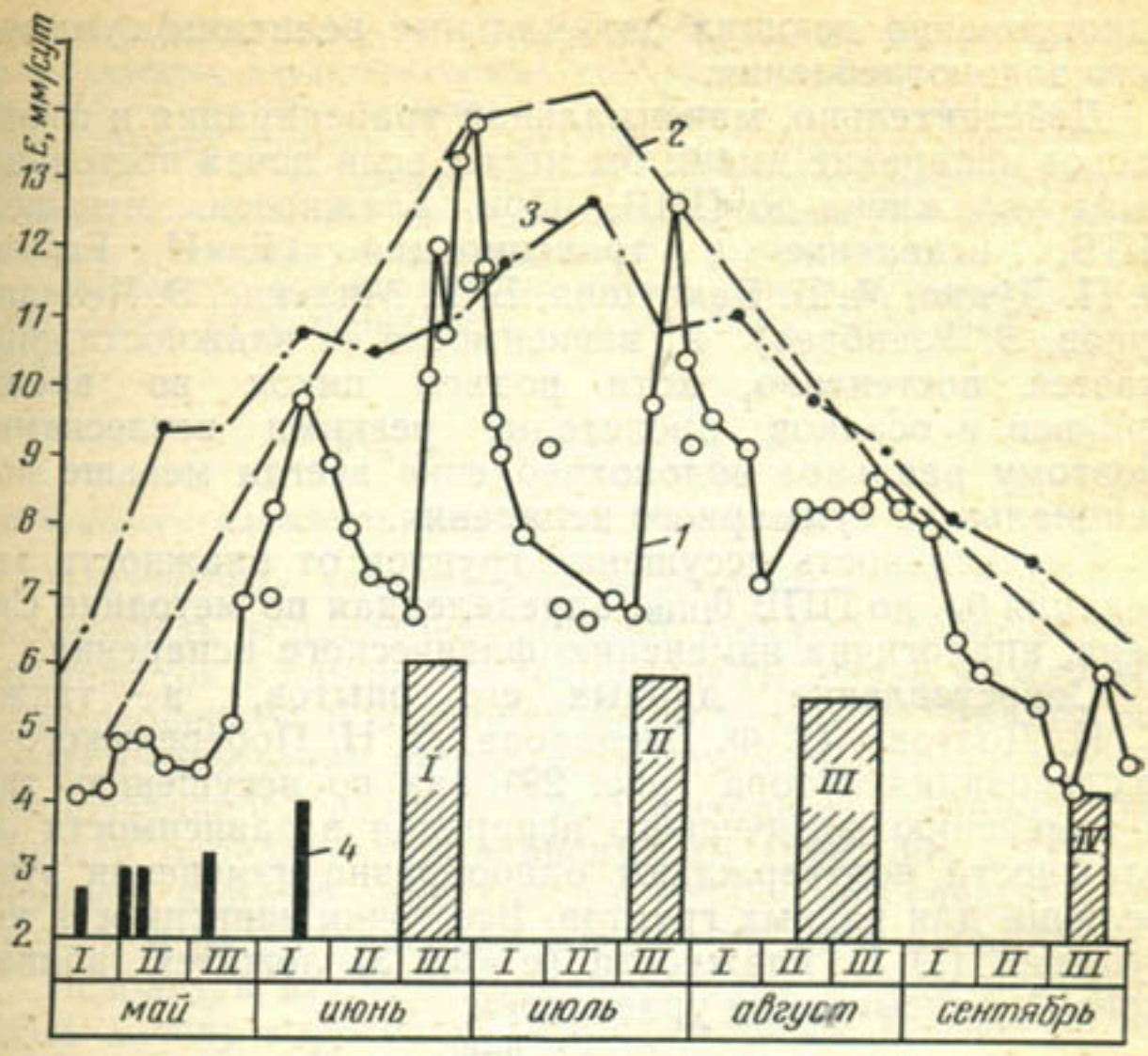


Рис. 29. Испаряемость максимального и фактического суммарного испарения по данным наблюдений на опытном участке в совхозе № 24 Каршинской степи:

1 — фактическое водопотребление; *2* — максимальное суммарное испарение; *3* — испаряемость; *4* — осадки; I, II, III, IV — номера поливов.

допотребления может привести к 20...35%-ному занижению ординаты водопотребления, хотя в целом за вегетацию и дает приближенно осредненные результаты. Объясняется это инверсией и теплопереносом, адеквацией с окружающими, менее увлажненными в этот период и менее поглощающими тепло поверхностями. Так как время полива в обычных условиях при незатопляемых культурах никогда не совпадает, это явление отмечается постоянно. Эта закономерность наталкивает на мысль о целесообразности при разработке направлений сокращения удельного водопотребления искать пути доведения до минимума физического испарения и транспирации, ограничивая их в пределах оптимального диапазона колебаний влажности при произрастании растений,

одновременно дающих оптимальные величины суммарного водопотребления.

Действительно, максимальная транспирация и физическое испарение имели бы место, если почва постоянно была увлажнена до ППВ. При влажности, меньшей ППВ, испарение и транспирация (Т. И. Гапич, О. П. Дудко, М. Б. Баклушин, Б. Е. Милькис, Э. Челпанкунов, Э. Узенбаев) в зависимости от влажности снижается постепенно, хотя подъем пиков во время поливов и осадков происходит резкими всплесками. Поэтому реальное водопотребление всегда меньше потенциального суммарного испарения.

Интенсивность иссушения грунтов от влажности завядания $\theta_{вз}$ до ППВ $\theta_{ппв}$, определенная по методике Секера, аналогична изменению физического испарения.

Сопоставление данных его опытов, а также С. И. Долгова, Н. Ф. Беспалова, Л. Н. Побережского и исследования автора (рис. 29) как по иссушению, так и изменению физического испарения в зависимости от влажности подтверждают однообразие изменения этих величин для разных грунтов. Все точки зависимости иссушения (ξ) от влажности ($n=0{,}973$) ложатся вблизи кривой, описываемой уравнением

$$\xi = 0{,}125\left(e^{2{,}2\,\frac{\theta-\theta_{вз}}{\theta_{ппв}-\theta_{вз}}-1}\right). \qquad (36)$$

Для транспирации наблюдается прямолинейная зависимость снижения ее от влажности корнеобитаемого слоя.

Обобщение и математическая обработка результатов исследований воднобалансовых станций позволили получить следующие зависимости для определения реальных величин физического испарения, транспирации и суммарного водопотребления:

$$U = (A_1P_1^2 + A_2P_1 + A_3)\,R; \qquad (37)$$

$$E_m = (-B_1\tau + B_2)\sqrt{RT\sqrt{\frac{F_л}{F_п}}\,e^{0{,}5\,\frac{RT}{\varkappa}}}\,K_{сл}; \qquad (38)$$

$$(E_m + U) = (-C_1P_1^2 + C_2P_1 + C_3)\,R, \qquad (39)$$

где

$$P_1 = K_{пов}\,(1-r)\,T\sqrt{1-\frac{F}{F_0}};$$

$K_{сл}$ — коэффициент влажности слоя; $K_{пов}$ — коэффициент влажно-

сти поверхности почвы; τ — месяц; A_1, A_2, A_3, B_1, B_2, C_1, C_2, C_3 — коэффициенты, характеризующие почвенные особенности и культуру; F/F_0 — затененность поверхности; $F_л$ — листовая поверхность в любой момент времени; $F_м$ — максимальная площадь листовой поверхности; R — радиальный баланс; r — относительная влажность воздуха; e — основание натуральных логарифмов; T — температура воздуха; χ — максимум произведения RT, равный 20.

Определяют коэффициент влажности слоя или поверхности по одинакового вида зависимости, отличающийся лишь зоной применения:

$$K_{сл\ (пов)} = \frac{\theta_{сл\ (пов)} - \theta_{вз}}{\theta_{ППВ} - \theta_{вз}},$$

где $\theta_{сл\ (пов)}$ — влажность слоя (или поверхности).

Полученные зависимости позволяют не только прогнозировать водопотребление на каждый последующий промежуток времени, но и установить связь между водопотреблением и мелиоративным режимом. Анализ полевых наблюдений показывает, что между показателем мелиоративного режима и относительной влажностью имеется определенная зависимость (рис. 30), закономерность которой определяется устойчивой связью между УГВ и распределением влажности зоны аэрации.

Используя эту закономерность, мы можем получить связь между относительным суммарным водопотребле-

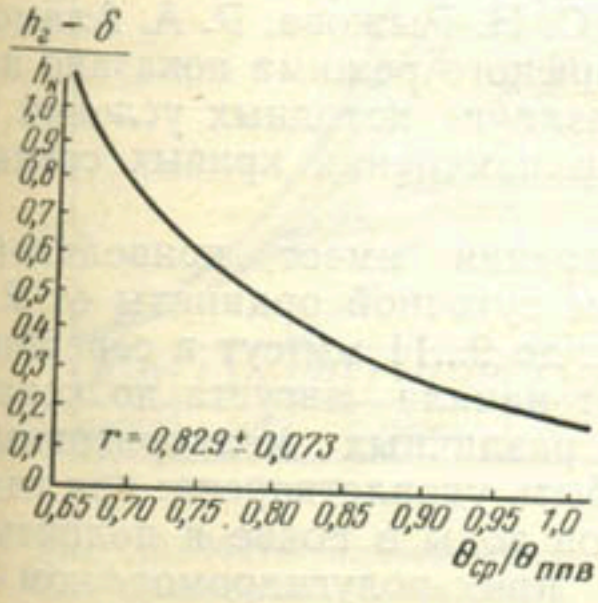


Рис. 30. Зависимость средней влажности в корнеобитаемом слое от уровня грунтовых вод.

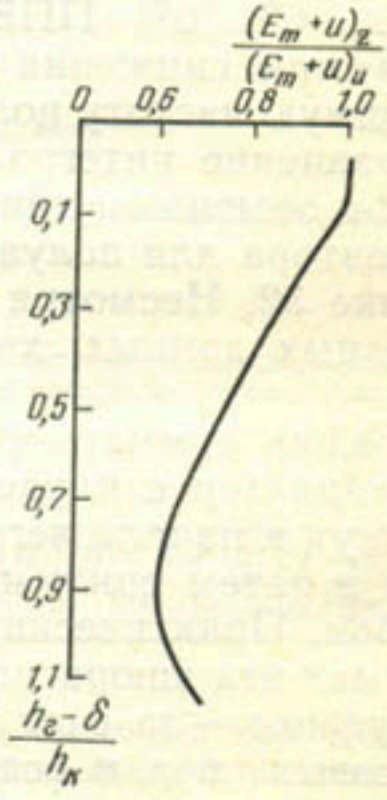


Рис. 31. Зависимость суммарного водопотребления от мелиоративного режима.

нием и мелиоративным режимом (рис. 31), что позволяет перейти в дальнейшем к оптимизации показателей мелиоративного режима и выбору параметров оросительных систем. Кроме того, с учетом полученных связей и зависимостей (37), (38) рассчитаем для типичного распределения R, r и других величин кривые суммарного водопотребления для Голодной степи, Ташкента и Ферганской долины (значения этих параметров близки). Вследствие постоянного увлажнения на уровне ППВ и более при гидроморфном режиме кривая суммарного испарения эквивалентна кривой максимальной эвапотранспирации, при полугидроморфном режиме она несколько меньше. Минимум имеет место при полуавтоморфном режиме благодаря среднему уровню влажности 80% ППВ.

Постоянное водное питание в необходимых размерах дефицита против ежесуточного суммарного испарения может быть, очевидно, обеспечено только при гидроморфном режиме за счет «субирригации», несколько в меньшей степени при полугидроморфном режиме и бесспорно крайне сложно конструктивно и технически для других режимов и видов орошения. Поэтому обычно почва при каждом поливе увлажняется до ППВ, несколько выше или ниже, а затем влажность постепенно снижается до 60...70% ППВ — допустимого предела иссушения. Темпы снижения влажности почвы определяют необходимую частоту поливов.

Сравнение интегральных кривых суммарного испарения с опытными данными С. Н. Рыжова, Р. А. Алимова и автора для полуавтоморфного режима показано на рисунке 32. Несмотря на различие исходных условий и расчетных данных, характер изменения кривых совпадает.

График суммарного испарения имеет криволинейный характер с нарастанием суточной ординаты от 2... 3 мм/сут в начале вегетации до 9...11 мм/сут в середине июля и затем снижением от начала августа до конца октября. Практически при различных мелиоративных режимах эта эпюра может быть удовлетворена: при гидроморфном — за счет запасов воды в почве и подпитки грунтовых вод и осадков; при полугидроморфном — большей частью за счет запасов воды в почве, подпитки из грунтовых вод и частично за счет орошения и осадков; при полуавтоморфном — обычно за счет орошения

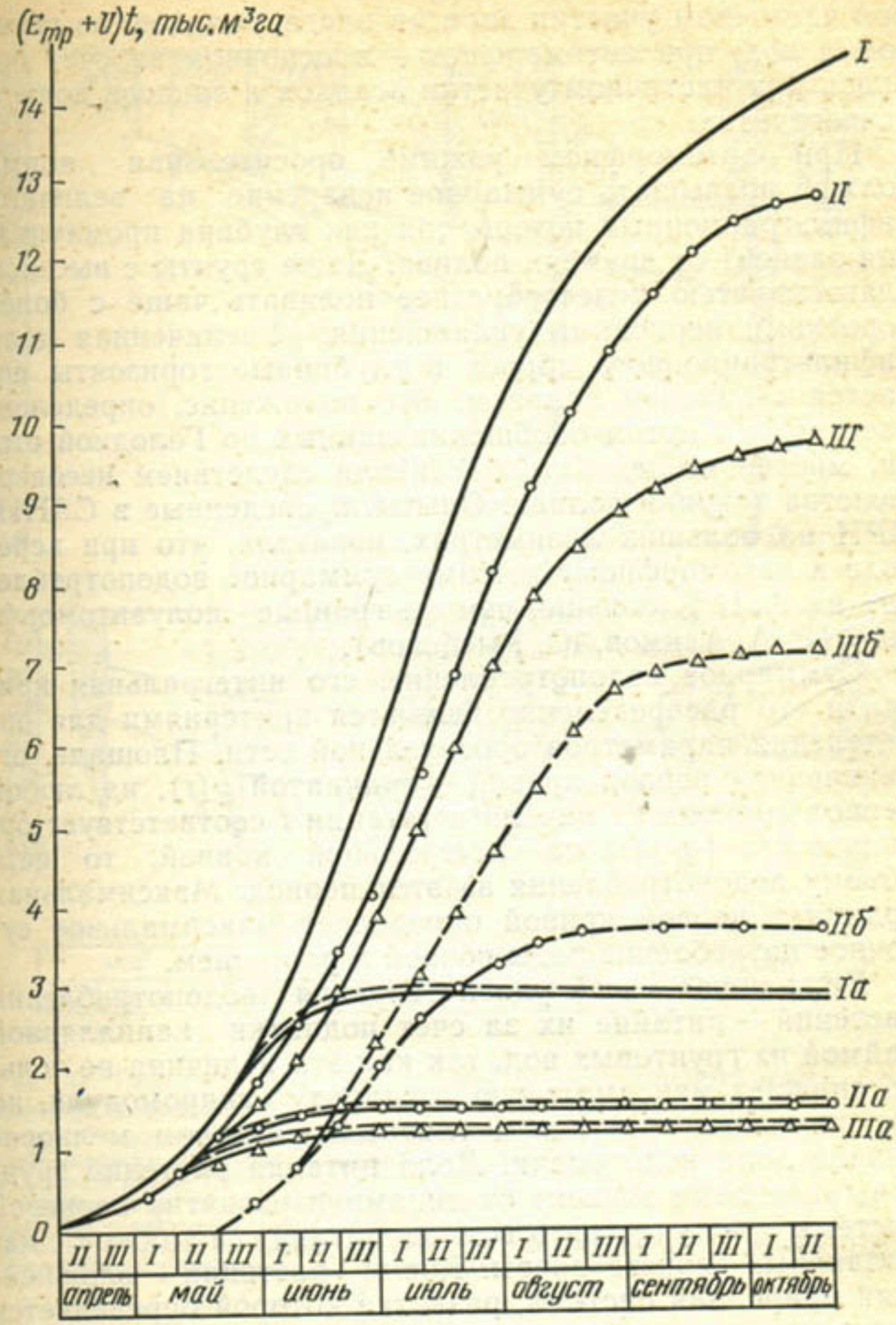


Рис. 32. Интегральные кривые водопотребления при различных мелиоративных режимах при выращивании хлопчатника.

при частичном участии запасов влаги, осадков, из грунтовых вод; при автоморфном — в основном за счет поливов при частичном участии осадков и запасов воды в почвогрунтах.

При автоморфном режиме оросительная норма должна превышать суммарное испарение на величину инфильтрационных потерь, так как глубина промачивания зависит от времени полива. Даже грунты с высокой влагоемкостью целесообразнее поливать чаще с более короткими периодами увлажнения. Увеличенная доля инфильтрационного сброса в глубинные горизонты подается с каждым поливом. Это положение, определенное автором путем обобщения данных по Голодной степи, многие исследователи считали следствием несовершенства техники полива. Опыты, проведенные в САНИИРИ на больших лизиметрах, показали, что при переходе к автоморфному режиму суммарное водопотребление на 8...11% больше, чем на границе полуавтоморфного (Р. А. Алимов, Ю. Рыебеков).

Суммарное водопотребление, его интегральная кривая и его распределение являются критериями для определения параметров оросительной сети. Площадь, ограниченная первой кривой — ординатой $y(t)$, на любой период времени от начала вегетации t соответствует ординате $(E_m+U)(t)$ на интегральной кривой, то есть объему водопотребления за этот период. Максимальная ордината первой кривой определяет максимальное суточное потребление воды почвой и растением.

Важнейшая часть удовлетворения водопотребления растений — питание их за счет подпитки капиллярной каймой из грунтовых вод, так как эта величина не только снижает максимальную ординату гидромодуля, но одновременно является и главным фактором мелиоративной доли водоподачи. Доля питания растений грунтовыми водами зависит от динамики развития корневой системы и ее участия в водном питании, а также от капиллярных свойств почвы. Корни растений — сложнейшая природная система, развитие которой определяется условиями водного и минерального питания.

При близком залегании уровня грунтовых вод корневая система располагается в основном в слое 0...80 см (рис. 33, *IV*) и расходует большей частью влагу в слое 0...50 см, лишь с июля потребляя из нижнего полуметра 35...45% общей влаги. Такой же характер носит динами-

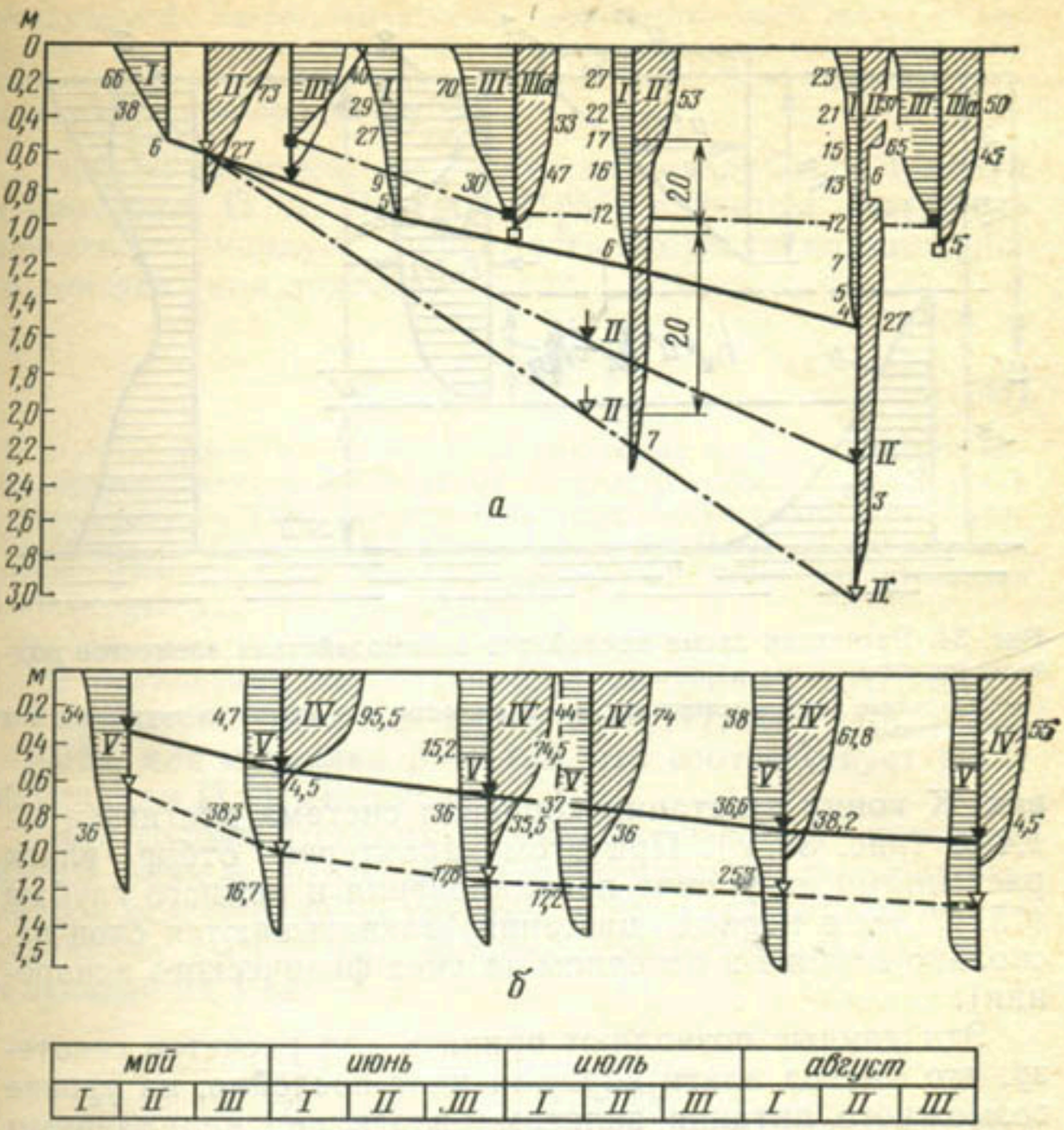


Рис. 33. Развитие корневой системы (*а*) и послойный отбор влаги корнями хлопчатника (*б*):

I, II, III — интегральные кривые суммарного испарения гидроморфного, полугидроморфного и полуавтоморфного режимов; *Ia*; *IIa*; *IIIa* — то же питания из запасов влаги; *IIб, IIIб* — то же оросительной водоподачи.
I — дождевание, полуавтоморфный режим; II — дождевание, автоморфный режим; III — внутрипочвенное орошение; IV — полив по бороздам, полугидроморфный режим; V — полив по бороздам, полуавтоморфный режим. Цифры по зонам показывают процент отбора влаги по глубине.

ка корневой системы при достаточном увлажнении на фоне внутрипочвенного орошения ВПО (рис. 33, *III*). При полуавтоморфном режиме корневая система развивается более интенсивно, особенно в грунтах, склонных к магазинированию,— связных суглинках, сероземах, лугово-сероземных почвах при влагозарядковых поли-

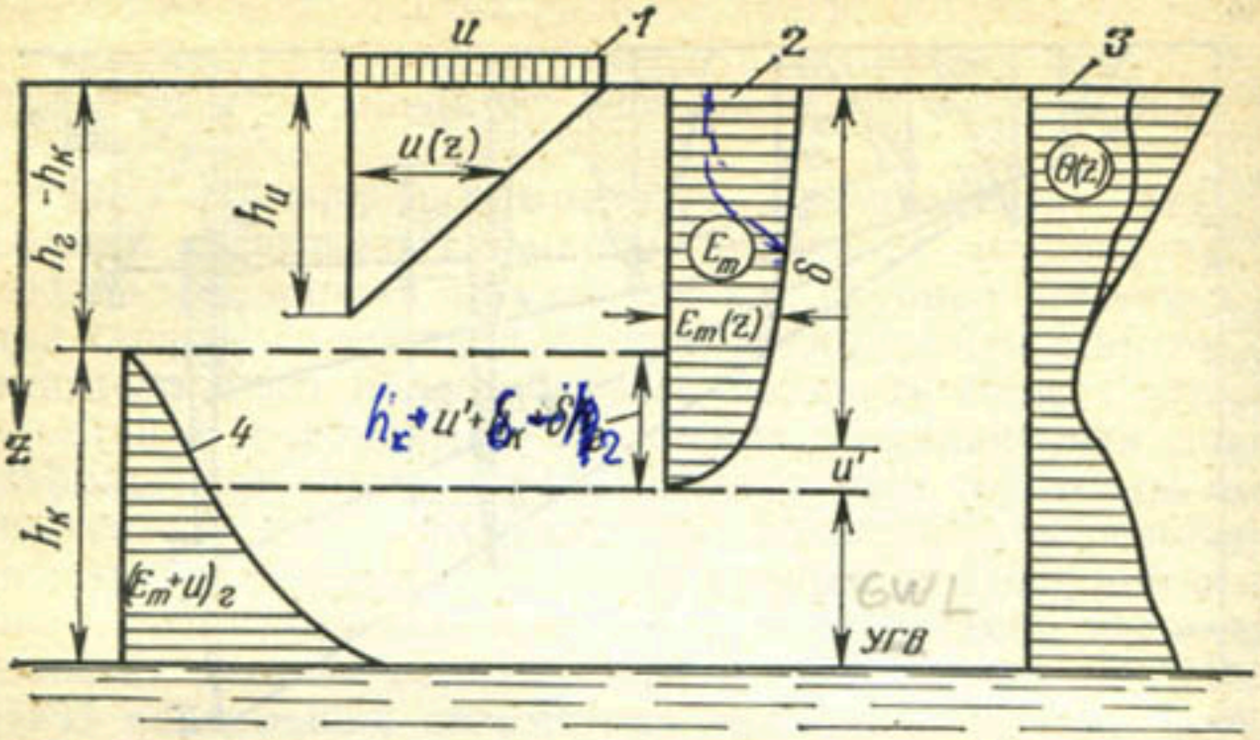


Рис. 34. Расчетная схема послойного взаимодействия элементов водного питания зоны аэрации:

1 — испарение; *2* — транспирация; *3* — влажность; *4* — подсос из грунтовых вод (капиллярный).

вах. К концу вегетации корневая система достигает 1... 1,4 м (рис. 33, *V*). При этом характерен отбор влаги растениями на уровне проникновения и немного глубже (15...30 см в период цветения захватываются слои несколько глубже в основном за счет физического испарения).

Эти данные позволяют принять для расчетов гипотезу, что расход влаги корнями идет послойно, на уровне возможного питания запасами влаги и капиллярным подпитыванием.

Если рассмотреть в соответствии с изложенными выше материалами полевых исследований отбор влаги корнями растений, то величина потенциального капиллярного водопотребления из грунтовых вод составит (рис. 34)

$$(E_m+U)_{г_0} = P_0 E \int_{h_г - h_к}^{\delta+U'} S(z)\,dz, \qquad (40)$$

где U' — для начального периода развития — 30...40 см, для цветения — 20...30 см, для бутонизации и далее — 10...20 см; P_0 — активная капиллярная пористость, которая, по данным имеющихся исследований, должна быть разницей между предельной полевой влагоемкостью или наименьшей капиллярной влажностью и двойной

максимальной гигроскопичностью, соответствующей связному состоянию влаги при минимальном диаметре фракций 0,0018 мм. Она колеблется от 6 до 12% для различных почв; S_z — изменение всасывающей способности на глубине z.

Приняв за основу теоретические разработки Терцаги и Дизерана, П. А. Летунов (1955) с учетом натурных данных рекомендует зависимость скорости капиллярного притока (или подсоса) в виде

$$V_n = \beta h_0^{\frac{1}{\beta}} h^{1-\frac{1}{\beta}}, \qquad (41)$$

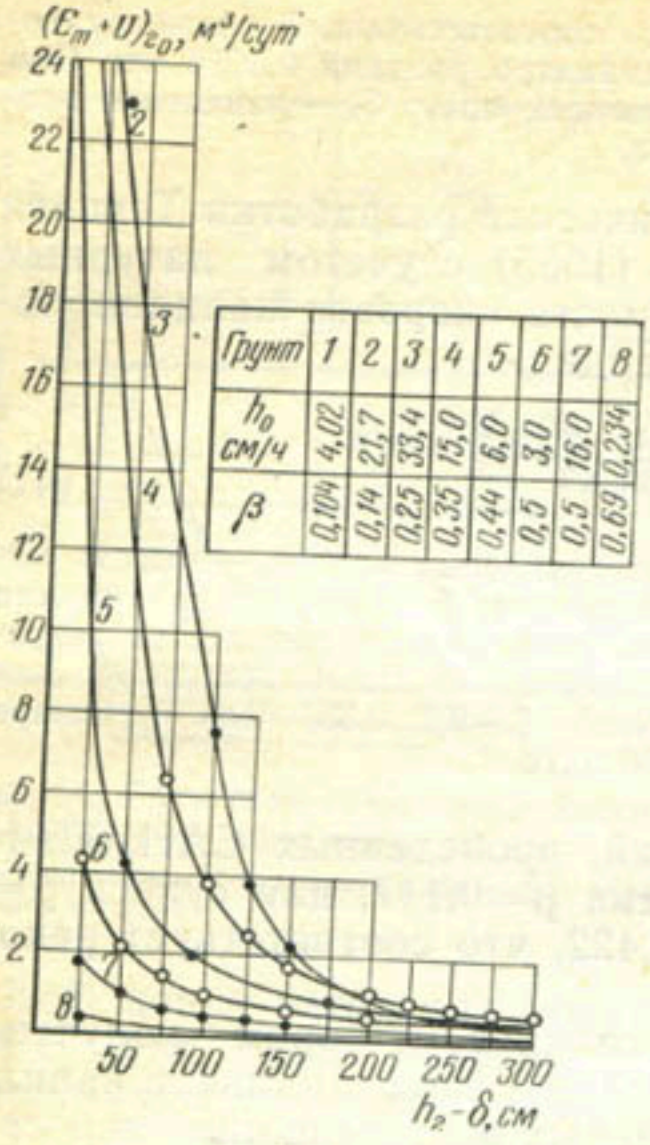
где V_n — скорость на высоте h от грунтовых вод; h_0 — высота капиллярного поднятия в начальный период; β — показатель скорости капиллярного поднятия во времени, теоретически равный, по разработкам А. А. Роде, $\beta=0{,}5$. Фактически, по П. А. Летунову: для песков $\beta=0{,}104...0{,}14$, для супесей $\beta=0{,}2...0{,}35$, для суглинков $\beta=0{,}32...0{,}47$, для солонцов $\beta=0{,}60...0{,}78$.

В результате наблюдений, проведенных САНИИРИ в Карши, получено для песка $\beta=0{,}117$, для супеси $\beta=0{,}348$, для суглинка $\beta=0{,}422$, что соответствует рекомендациям П. А. Летунова.

Для голодностепских суглинков автором получено $\beta=0{,}5$. Зная β, можно определить потенциальное капиллярное всасывание из грунтовых вод, умножив скорость (см/ч) на высоте капиллярной каймы ($h_г$—δ) на 24 ч и приведя на 1 га:

$$(E_m+И)_{г_0} = \frac{2{,}4\cdot 10^3 \beta h_0^{\frac{1}{\beta}}}{(h_г-\delta)^{\frac{1}{\beta}-1}}. \qquad (42)$$

Данная величина не является фактическим питанием из грунтовых вод зоны аэрации, она определяет максимальную величину подсоса, которая может быть реализована корневой системой растения при соответствующем дефиците водного питания и обычно реализуется полностью только в гидроморфном и частично полугидроморфном режиме, а также при иссушении зоны аэрации до недопустимых значений влажности почвы перед поливом. Аналогичный подход применен В. Ф. Шебеко, но в связи со сложностью аналитического решения его дана методика упрощенного ступенчатого расчета величины максимального питания из грунтовых вод.



Грунт	1	2	3	4	5	6	7	8
h_0 см/ч	4,02	21,7	33,4	15,0	6,0	3,0	16,0	0,234
β	0,104	0,14	0,25	0,35	0,44	0,5	0,5	0,69

Рис. 35. Потенциальное капиллярное подпитывание из грунтовых вод:

1 — песок (a=2...1 мм); *2* — то же (d=0,2...0,1 мм); *3* — супесь; *4* — супесь пылеватая; *5* — суглинок связный; *5* — суглинок структурный; *7* — суглинок малоструктурный; *8* — солонец, такыр.

Для облегчения определения $(E_m+U)_{z_0}$ в различных грунтах на рисунке 35 приведена величина потенциального капиллярного подпитывания из грунтовых вод.

Чтобы послойно определить баланс влагообмена в зоне аэрации, необходимо знать распространение фронта физического испарения $U(Z)$ и отбора влаги корнями растений $E_m(Z)$. При влажности $\theta_{ппв} \geqslant \theta \geqslant \theta_{0,8ппв}$, то есть во время полива и сразу после него, испарение идет в основном из запасов почвенной влаги и не отражается на подсосе воды из более глубоких горизонтов и из грунтовых вод.

При меньшей влажности в пределах 30% ($\theta_{ппв}$—$\theta_{вз}$) распространение физического испарения может быть удовлетворительно описано треугольной эпюрой при глубине иссушения $h_и$:

$$U(Z) = \frac{2U}{h^2_и}(h_и - Z). \qquad (43)$$

Для транспирации аналогичное распределение может быть получено при параболической эпюре:

$$E_m(Z) = 2E_m\sqrt{\frac{2(\delta + U'' - Z)}{(\delta + U')^3}} \qquad (44)$$

Если рассмотреть баланс зоны аэрации, считая ее размеры в какой-то элементарный период неизменными, то известные величины U и E_m позволяют определить изменение влажности зоны аэрации с учетом возмож-

ной подпитки из грунтовых вод $(E_m+U)_{г_0}$. В целом в зоне аэрации изменение запасов влаги может быть определено для двух фрагментов зоны: $Z[0 \longrightarrow (h_{г.в}-h_к)]$ и $Z[(h_{г.в}-h_к$ до $\delta+U')]$.

Если в верхнем фрагменте $\theta(Z)$ лежит в диапазоне $(\theta_{ппв}-\theta_{вз})$ равномерно по всему слою, то отбор идет по установленным зависимостям $U(Z)$ и $E_m(Z)$ без всякого отклонения, изменение влажности в нижнем фрагменте компенсируется величиной

$$(E_m+U)_г \leqslant (E_m+U)_{г_0}.$$

Изменение влажности в верхнем фрагменте может быть послойно описано уравнением

$$\theta(Z)\Big|_0^{h_г-h_к} = \theta_0(Z)-U(Z_1)-E_m(Z_1). \qquad (45)$$

Для любого периода времени в пределах потенциальной подпитки по формуле (42) величина фактического удовлетворения водопотребления из грунтовых вод может быть получена по зависимости, полученной автором,

$$(E_m+U)_г = 2\bar{K}\frac{t_{вег}-t_n}{t_{вег}}\left\{\frac{2E_m\sqrt{2(\delta+U'-h_г+g_к)^3}}{3(\delta+U')^{3/2}}+\right.$$
$$\left.+\frac{U_0}{h^2_и}[(h_г-h_к)^2-(\delta+U')^2]\right\}, \qquad (46)$$

где $\bar{K}$ — отношение $(E_m+U)_г/(E_m+U)_0$.

При $h_г-h_к=\delta+U'$ $(E_т+U)=0$.

Расчетный вегетационный период $t_{вег}$, в течение ко-

34. Исходные элементы для определения подпитывания из грунтовых вод

Параметр	Способ полива	Мелиоративный режим		
		полугидроморфный	полуавтоморфный	автоморфный
δ, м	Поверхностный	0,8...1,0	1,0...1,2	1,5
	Дождевание	1,0...1,2	1,2...1,6	1,8...2,3
	Внутрипочвенный	0,6...0,8	0,7...0,9	0,8...1,0
$t_{вег}$, сут		120	95	20

торого происходит подпитывание грунтовых вод, и расчетная глубина корневой системы хлопчатника δ приведены в таблице 34.

Сопоставление величины $(E_m+U)_г$ по зависимости (46) с общепринятой методикой С. Ф. Аверьянова показывает, что рекомендуемый метод дает существенное снижение величин подсоса из грунтовых вод, более отвечающее натурным данным.

Исходя из уравнения солевого баланса зоны аэрации можем определить необходимое промывное водопотребление M:

$$\Delta S = O_р \eta_{mn} C_{ор} + O_с C_{ос}(1-\alpha) - S_{ур} - (E_m+U)_г C_г - \\ -[O_р(1-\eta_{mn})d_2'' + O_с\alpha + M]C_и. \quad (47)$$

Учитывая, что в аридной зоне в период вегетации осадки обычно не достигают уровня грунтовых вод, а минерализация их близка к нулю, в выражении (47) объемом осадков можно пренебречь, ибо их роль в переносе солей во время вегетации в этих условиях ничтожна. Примем, что минерализация оросительной воды ($C_{ор}$) постоянна, а промывная часть водоподачи может быть выражена в доле от оросительной как $M = \beta O_р$. Поглощение растениями солей пока исключаем из рассмотрения.

Чтобы обеспечить поддержание необходимого солевого режима, нужно, чтобы в выражении (47) $\Delta S \leqslant 0$. После указанных подстановок

$$\beta = \frac{\eta_{mn} C_{ор} + \dfrac{(E_m+U)_г C_г}{pO}}{C_и} - (1-\eta_{mn})d_2'' - \frac{O_с\alpha}{O_р}. \quad (48)$$

Величина $C_и$ может быть определена с учетом рекомендаций Л. М. Рекса как

$$C_и = \frac{C_n 10^4 h_г(\theta-\theta_{вз}) - O_р C_{ор} - C_г(E_m+U)_г}{10^4 h_г(\theta-\theta_{вз}) + O_р + O_с - Ut_n + (E_m+U)_г}. \quad (49)$$

Приведенные зависимости позволят перейти к оптимизации мелиоративных режимов.

АНТИФИЛЬТРАЦИОННЫЕ МЕРОПРИЯТИЯ И МЕЛИОРАТИВНЫЙ РЕЖИМ

Максимальное снижение потерь воды из оросительных каналов за счет устройства антифильтрационных одежд должно быть согласовано с пополнением того

объема грунтовых вод, который расходуется на подпитку зоны аэрации, являясь источником питания растений и фактического испарения.

Так как для различных мелиоративных режимов изменяется взаимодействие между грунтовыми водами и зоной аэрации, для некоторых мелиоративных режимов (полугидроморфного, гидроморфного) величина подпитывания грунтовыми водами зоны аэрации может намного превышать количество воды, поступающее в грунтовые воды путем инфильтрации с поля. Обычно эти величины близки при полуавтоморфном режиме или отличаются незначительно, но резко требуют пополнения при полугидроморфном режиме. Так, в САНИИРИ в совхозе № 1а инфильтрация в грунтовые воды при полуавтоморфном режиме составила 962 м³/га, а испарение из грунтовых вод 1216 м³/га.

Для зон с полугидроморфным режимом разница между испарением из грунтовых вод и инфильтрационным питанием при поверхностном поливе может достигать 1,5...5,5 тыс. м³/га. В зонах с естественным интенсивным притоком в грунтовые воды извне, напорного питания изменение уровня грунтовых вод может быть легко компенсировано подпором или отключением дренажа. В отдельных же случаях, например в зоне естественного слабого оттока, возникает необходимость подпитки грунтовых вод за счет потерь на фильтрацию из каналов или даже за счет дополнительного влагозарядкового (промывного) полива в невегетационный период. В опытах, проведенных САНИИРИ по колхозу «Правда» (Хорезм), приводятся данные, когда фильтрационные потери в 2...4 тыс. м³/га на опытно-производственном участке не смогли компенсировать испарения из грунтовых вод и дренажного стока.

Рассматривая уравнение водного баланса грунтовых вод при известном уровне техники полива, напорного подпитывания грунтовых вод, необходимого дренажного модуля, исходя из сохранения уровня грунтовых вод к началу следующего гидрологического года на одинаковых отметках, необходимый КПД можно определить:

$$\eta_c = \frac{D + (E_т + И)_г - (\underline{П} - \underline{О}) - O_c\alpha - O_p d_2'}{O_p(d_2' - d_2'' + \eta_{min} d_2''} . \qquad (50)$$

Для условий нулевого питания подземных вод и незначительных осадков, принимая для поверхностного по-

35. Сравнительные показатели различных сочетаний покрытий на каналах

Вид сети	КПД сети		КПД системы	Доля потерь на фильтрацию d_1''	Срок службы, лет	Коэффициент изменения потерь воды γ	K, р/га	E, р/га	КЗИ	Приведенные затраты, р/га	
	межхозяйственной	внутрихозяйственной								для реки Амударьи	для реки Сырдарьи
Межхозяйственные каналы в земляном русле инженерного типа круглогодичного действия с пропуском мутной воды, внутрихозяйственные — неинженерные	0,80...0,95	0,52...0,60	0,45...0,54	0,7...0,8	20	—0,010	245	65,0	0,90...0,93	342,2	458,6
То же, внутрихозяйственная сеть периодического действия	0,75...0,90	0,52...0,60	0,42...0,50	0,7...0,8	20	—0,010	245	62,0	0,90...0,93	357,8	483,5
То же, при пропуске чистой воды	0,70...0,85	0,52...0,60	0,38...0,47	0,7...0,8	20	—0,005	245	57,0	0,91...0,93	373,2	509,2

Межхозяйственные — то же, внутрихозяйственные в земляном русле в суглинке	0,80... 0,95	0,65... 0,75	0,52... 0,60	0,7...0,8	20	—0,010	245	65,0	0,89... 0,92	322,0	427,4
То же, в супесях	0,80... 0,95	0,60... 0,71	0,50... 0,57	0,6...0,7	20	—0,010	245	65,0	0,89... 0,92	359,0	484,0
Межхозяйственные каналы в монолитной облицовке, внутрихозяйственные— в лотках	0.85... 0,96	0,86... 0,90	0,65... 0,78	0,5...0,6	30	+0,033	989	22,5	0,92... 0,96	314,0	398,0
Межхозяйственная — то же, внутрихозяйственная в бетонной облицовке	0,85... 0,96	0,75... 0,86	0,60... 0,75	0,5...0,7	18	+0,050	829	18,0	0,92.. 0,94	331,0	432,0
Межхозяйственная — то же, внутрихозяйственная в трубах	0,85... 0,96	0,92... 0,96	0,80... 0,90	0,4...0,6	38	+0,030	909	16,2	0,95... 0,98	200,0	264,0
Межхозяйственная в сборной облицовке по пленке или ткани, внутрихозяйственная в лотках	0,90... 0,98	0,86.., 0,96	0,75... 0,93	0,5..,0,7	32	+0,010	1 027	19,2	0,95... 0,98	192,0	249,0

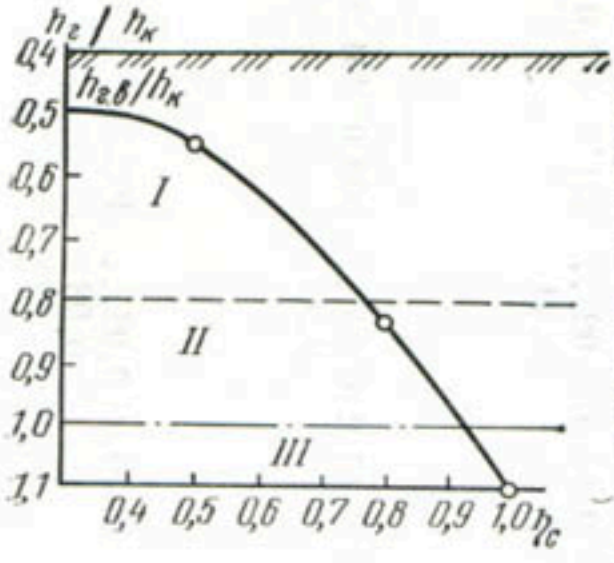


Рис. 36. Коэффициент полезного действия систем в зависимости от мелиоративного режима:

I — полугидроморфный; II — полуавтоморфный; III — автоморфный.

лива $\eta_{тп}=0{,}65$, $d'_2=0{,}5$, $d''_2=0{,}8$, получаем, что при автоморфном режиме необходимо стремиться к нулевым потерям и КПД системы, близкому к единице, при полуавтоморфном — КПД=0,85, а при полугидроморфном несколько ниже (рис. 36).

В этом разделе мы говорим о техническом КПД, имея в виду учет потерь технических, исключая сбросы, или иначе — организационные потери.

Для получения указанных КПД системы необходимо подобрать определенные инженерные конструкции сети. В таблице 35 приведено 9 видов сети различной конструкции с КПД системы от 0,5 до 0,93. Добиться КПД, равного единице, нельзя даже на межхозяйственной сети. Близкая к предельной конструкция оросительной сети разработана САНИИРИ совместно с «Средазгипроводхлопком» и ГСКБ по ирригации. Такая система построена на Караулбазарском канале в Бухарской области (расход 28 м³/с, длина 22 км). Здесь в трещиноватых известняках с $K_ф=200$ м/сут устройство экрана из водонепроницаемой капроновой ткани, обработанной полиизобутиленом и прикрытой слоем бетона, позволило снизить потери на фильтрацию до нуля, при КПД канала 0,995.

Эффективность облицовок различных видов на каналах заключается в снижении потерь воды во времени; уменьшении эксплуатационных расходов за счет сокращения очистки, размывов берегов, их оплывания, уменьшения (или ликвидации совсем) зарастания, а следовательно, и борьбы с ним; предотвращении выпадения из сельскохозяйственного оборота земель в приканальной зоне за счет недопущения заболачивания и засоления; уменьшении нагрузки на дренаж в пределах орошаемых и обрабатываемых земель.

Сравнение проводят, сопоставляя приведенные затраты с учетом потерь за период службы антифильт-

рационного покрытия:

$$W_{\text{ор}}(1-\eta_c)\,d_1''\,(1+\gamma t)\Big|_0^{T_э},$$

где γ — увеличение потерь из каналов во времени; $T_э$ — срок службы экрана, лет.

Для определения η_c, $T_э$, γt автор использовал результаты наблюдений за потерями воды на каналах Голодной степи, а также обобщения Р. М. Горбачева и ряда других исследователей. В расчетах принята средняя удельная протяженность внутрихозяйственных и межхозяйственных каналов. Для Узбекистана она соответственно равна 1,9 и 20 м/га для технически совершенных систем и 6,6 и 38 м/га для старых систем.

Изменения антифильтрационных свойств во времени для экранов из ударно-уплотнительных грунтов, монолитного железобетона и с использованием комбинированной облицовки приведены на рисунке 37.

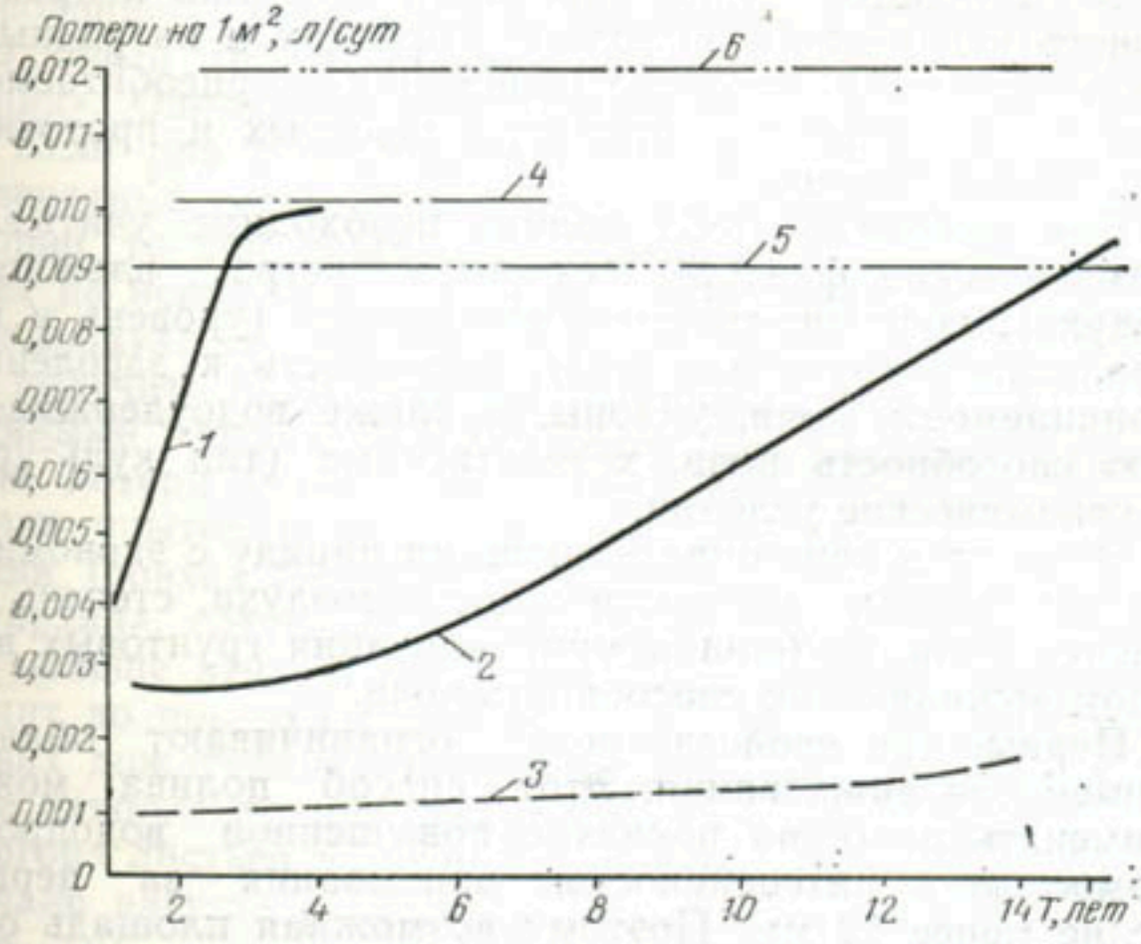


Рис. 37. Изменение антифильтрационных свойств экранов во времени:
1 — уплотненные экраны ударного уплотнения; *2* — экраны из монолитного железобетона; *3* — комбинированные бетонопленочные покрытия; *4* — потери из грунтового покрытия; *5* — потери в земляных руслах начальные; *6* — то же, конечные.

В результате расчетов для бассейнов реки Сырдарьи и Амударьи получены (см. табл. 35) приведенные затраты на антифильтрационные мероприятия. Наиболее экономичны для Узбекистана — системы с комбинированным или бетонным покрытием межхозяйственных каналов и внутрихозяйственной сети (в лотках и трубах).

Указанный подход может быть применен во всех природных условиях, кроме слоистой среды, когда с целью ликвидации возможной вторичной напорности от каналов антифильтрационную облицовку следует делать во всех случаях.

НАЗНАЧЕНИЕ СПОСОБА И ТЕХНИКИ ПОЛИВА

Одним из важнейших элементов оросительной системы является техника полива. Выбор ее определяет равномерность увлажнения растений, а отсюда и урожай. В то же время способы полива и их вид отличаются КПД техники полива $\eta_{тп}$, отношением воды, идущей на увлажнение корнеобитаемой зоны и подаваемой на поле. КПД техники полива зависит от величины непродуктивного испарения в выводных бороздах и на распыление в воздухе, на инфильтрацию ниже корнеобитаемого слоя и от потерь на сброс при сквозных и проточных поливных бороздах.

При выборе способа полива необходимо учитывать климатические факторы (скорость ветра, влажность воздуха), почвенно-гидромелиоративные (уровень и минерализация грунтовых вод), склонность к засолению, проницаемость почв, уклоны, а также водоудерживающую способность почв, хозяйственные (тип культуры) и экономические условия.

В аридной зоне определяющими наряду с экономическими условиями являются сухость воздуха, степень засоления почв, глубина и минерализация грунтовых вод, водоудерживающая способность почв.

Первые три свойства резко ограничивают область применения **дождевания**. Этот способ полива можно применять лишь на почвах с повышенной водопроницаемостью и интенсивностью впитывания за первый час не менее 12 мм. Поэтому возможная площадь орошения дождеванием в Средней Азии составляет не более 6...8% [земли с высоким уровнем пресных или очень слабоминерализованных грунтовых вод ($\leqslant$2 г/л) с влажностью воздуха в вегетацию 50% и более]. При

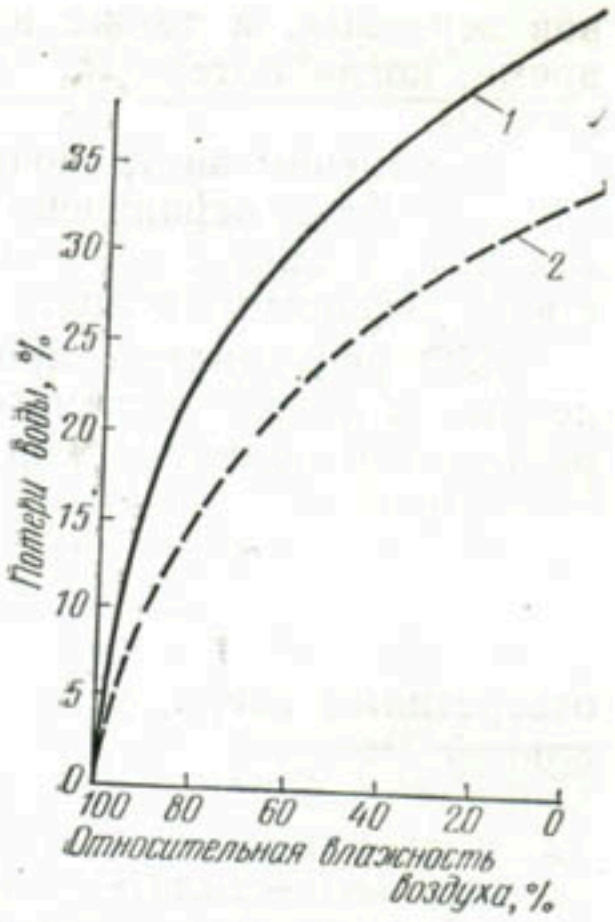


Рис. 38. Зависимость потерь при дождевании от влажности воздуха:

1 — при скорости ветра 3...5 м/с; *2* — то же, 0...2 м/с.

этом дождевание удовлетворяет лишь до 35% общего водопотребления, остальная часть покрывается за счет запасов влаги в почве и подпитки из грунтовых вод (Масленников В. М.).

В условиях хорошей дренированности почв с высокой маганизирующей способностью, как в Голодной степи, при неглубоком залегании среднеминерализованных вод (до 5 г/л) возможно использование комбинированного метода «дождевание в вегетацию — бороздковый (влагозарядка+промывка) полив вне вегетации». Однако площадь таких земель ограничена.

Если при поверхностном поливе потери формируют возвратные воды, которые могут быть использованы повторно, то при дождевании потеря влаги в основном идет на испарение при распыле (рис. 38). При влажности воздуха свыше 50% и скорости ветра до 2 м/с можно получить КПД техники полива, соизмеримый с улучшенными типами бороздкового, при меньших влажностях потери резко возрастают. Этим объясняются неудачи опытов и внедрения дождевания в Каршинской степи (совхоз № 26), Голодной степи (совхоз № 15 а, «Фархад», совхоз № 6), где влажность воздуха намного меньше этих величин и большая часть воды не доходит до поверхности поля. Здесь даже при частых поливах дождеванием отмечены опадения завязей, снижение накопления плодоэлементов и коробочек, потеря тургора листьев во второй половине дня в конце июля и начале августа с острыми признаками водного голодания.

Возможно, что здесь найдет широкое применение дождевание в виде интенсивных влагозарядковых поли-

вов зерновых, а также в ночное, вечернее и утреннее время, когда потери на испарение и распыл минимальны.

Применение внутрипочвенного орошения (ВПО) в Средней Азии ограничено неподверженными засолению землями, а также пока высокой стоимостью строительства и дефицитом полиэтиленовых труб.

ВПО рекомендуют применять только на слабозасоленных и не подверженных засолению грунтах с минерализацией поливных вод менее 0,5 г/л. Отмечено, что интенсивность соленакопления при ВПО меньше, чем при бороздковом поливе.

Применение увлажнителей с песчаным обратным фильтром над точечными проколами калиброванными отверстиями вверх, устраиваемыми в комплексе специальной машиной, не только предотвращает излишний капиллярный сброс из увлажнителей в грунтовые воды, имеющий место при перфорации по кругу, но и позволяет осуществлять промывку слоя 0...45 см, а также использовать воду с минерализацией до 1 г/л.

Капельное орошение для полива садов и виноградников применяют на хорошо дренированных почвах и при минерализации оросительной воды до 4 г/л (Бернстайн, Франсуаза).

Одним из главных свойств природных условий, определяющих технику полива, является водоудерживающая способность почв. Для оценки этой характеристики приведем изменения влажности почв после поливов к единой шкале $\theta/\theta_{ППВ}$. В связных влагоемких грунтах Голодной степи и Ферганы с $K_ф = 0{,}2—0{,}5$ м/сут и уровнями грунтовых вод на глубине 3...5 м влажность за 20...30 сут снижается с 107...115% до 68...70% ППВ со среднесуточным темпом расходования влаги в 20...34 мм из верхнего 0...50-сантиметрового слоя; 40...70 мм — из метрового слоя, что почти покрывает потребность в суммарном испарении за этот период.

В грунтах с большим коэффициентом фильтрации — супесчаных и песчаных — с неглубоким (2...6 м) залеганием уровня грунтовых вод (Карши, Хорезм) и легких суглинистых грунтах с глубоким залеганием уровня грунтовых вод (Ташкентская область и Голодная степь, совхоз № 14а), несмотря на повышение при поливе влажности до 106...130%, сработка ее до 60...65% ППВ

36. Способность почв к магазинированию влаги при поливах

Участок	УГВ, м	Грунт	ППВ, %
Пахтаарал	2...5	Лессовидный суглинок	21,0
Ташкентская область	20	То же	20,8
Карши	4...6	Супесь	16,0
Голодная степь (совхоз № 1а)	3...5	Суглинок средний	20,0
Фергана	2...5	То же	27,2
Голодная степь (совхоз № 14а)	10	Суглинок легкий	17,0... 20,0

Продолжение

Участок	$K_ф$, м/сут	Начальная влажность, % ППВ	Емкость магазинирования в метровом слое, м³/га	Превышение поливной нормы над дефицитом, м³/га	Среднесуточный расход влаги из почвы, м³/га	
					0,5 м	1 м
Пахтаарал	0,33	106	1 280	340	20,3	40
Ташкентская область	0,51	117	1 590	613	53,0	96
Карши	0,91	130	1 440	1 350	72	135
Голодная степь (совхоз № 1а)	0,37	118	1 520 1 440	1 500	34	60
Фергана	—	94		—	31	57
Голодная степь (совхоз № 14а)	0,94	106	1 180	1 940	46	89

происходит за 10...15 сут, или почти в два раза быстрее.

Таким образом, хотя емкость магазинирования у этих грунтов равна или несколько меньше ППВ (табл. 36), интенсивность водоподачи за счет инфильтрации вглубь, особенно в условиях дренажа, в таких грунтах в 1,5...2 раза превышает среднюю интенсивность суммарного испарения.

Набор влажности в пределах 100...105% ППВ целесообразен только в суглинистых влагоемких грунтах, сероземах при глубине грунтовых вод до 7...5 м.

При дождевании водоудерживающая способность почв резко снижается, так как начальная влажность

после полива не превышает 85...90% ППВ, а межполивной период уменьшается в 1,5...2 раза.

Таким образом, для легких, особо слоистых грунтов как аллювиальных долин, так и субаэральных дельт целесообразно не увеличивать поливную норму сверх ППВ, а учащать поливы либо при близком залегании пресных грунтовых вод переходить на полугидроморфный режим с усилением подпитки растений грунтовыми водами.

Для связных грунтов с коэффициентами фильтрации менее 0,5 м/сут и большой водоудерживающей способностью целесообразно использовать это свойство почв, но не пытаться путем грузных норм доводить начальную влажность после полива до 115...130% ППВ, ибо при этом, особо в дренированных условиях, непродуктивно возрастают затраты воды на инфильтрацию вглубь и в дренаж. Следует ограничиваться достижением начальной влажности 100...106% ППВ. При этом допустимый максимальный межполивной период составляет от 6 до 30 сут. Минимальный срок характерен для легких переслаивающихся почвогрунтов Хорезма и части Каршинской степи, а максимальный — для исключительно влагоемких структурных почв Голодной степи, затем части Ферганской долины, Самаркандской области и т. д.

Недоучет этого фактора в проектных режимах орошения и опыт поливов в производственных условиях приведут к резкому несовпадению числа и норм поливов проектных и фактических режимов: в первом случае число поливов учащается, во втором — резко уменьшается. Так, в Хорезме фактически проводят 8...10 поливов, считая такты водоподачи дуплетом, а в Голодной степи зачастую ограничиваются двумя поливами.

Различия в водоудерживающей способности почвы предъявляют дифференцированные требования к параметрам и технике полива и даже оросительной сети. Объем маганизирования почвы может быть рассмотрен как определенная резервная емкость, компенсирующая отклонения, которые возникают из-за несовпадения режима потребности в поливах и возможностей сети, но тем не менее не отражаются на условиях формирования урожая, как отмечается многочисленными исследованиями. Для оценки этого явления определим динамику влажности поля в соответствии с приведенными выше

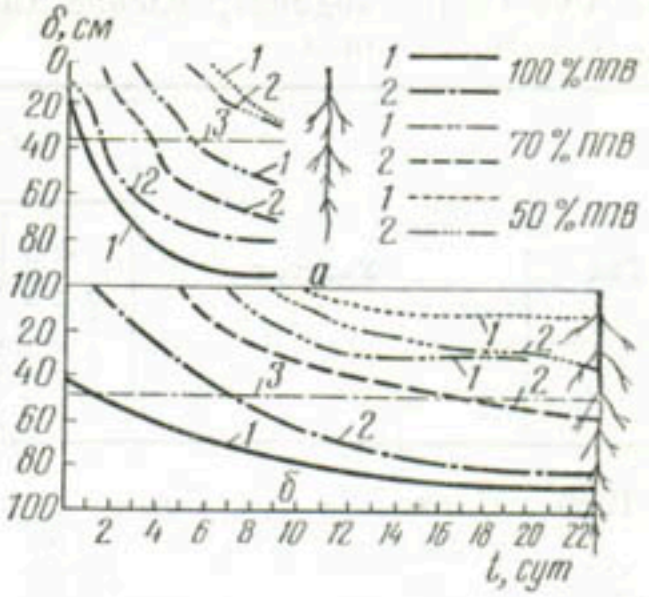


Рис. 39. Динамика изменения влажности корнеобитаемого слоя в июле:

а — Хорезм; *б* — Голодная степь; *1* — начало борозды; *2* — конец борозды; *3* — граница слоя оптимального увлажнения.

свойствами почв для Хорезма и Голодной степи с учетом неравномерности увлажнения на длине борозды. Оптимальные условия развития корневой системы растения устанавливаются, когда достаточно увлажнено 90...75% ее по глубине, так считают многие исследователи. Но в то же время отмечено, что если 60% зоны лежит в слое оптимального увлажнения 70% ППВ$\leqslant\theta\leqslant$100% ППВ, недостатка в водном питании не происходит. В период пика вегетации (рис. 39) в легких малоструктурных почвах с малой способностью к магазинированию (Хорезм) для обеспечения оптимального увлажнения всего поля необходимо поливать через 3...4 сут, а в Голодной степи можно растягивать межполивной период до 19...20 сут.

В зависимости от водоудерживающей способности почв должен быть сделан выбор техники полива. Для почв со слабой влагоемкостью и большой водоотдачей (супесей и песков) необходимо стремиться к таким методам и способам полива, чтобы можно было без значительного увеличения трудовых затрат увеличить частоту поливов или приблизить ее к постоянному увлажнению. Связные почвогрунты с высокими капиллярными свойствами, большой водоудерживающей способностью лучше поливать поверхностными способами. Они позволяют увеличить межполивной период, так как уменьшение числа поливов одновременно уменьшает и число обработок культур.

Влагоемкие высокомагазинирующие почвы (серозем ы, луговые и лугово-болотные, почвы староорошаемые, одновременно склонные к засолению) требуют поверхностного полива по длинным бороздам.

Почвы слоистых, субаэральных дельт с большей водоотдачей, так же как и почвы песчаных пустынь, щебенистые, лучше поливать поверхностным способом из

37. Суммарное водопотребление хлопчатника при различных способах полива

Год	Участок	Внутрипочвенное орошение			Бороздковое орошение		
		суммарное водопотребление, м³/га	урожайность, ц/га	удельное водопотребление, м³/ц	суммарное водопотребление, м³/га	урожайность, ц/га	удельное водопотребление, м³/ц
1976	Совхоз № 10а, Голодная степь	5 730	39,5	145	7 080	37,5	189
1977	То же	5 750	44,5	129	6 680	36,2	185
1974	Совхоз № 9, Каршинская степь	—	—	—	7 920	29,4	269
1974	НИСТО	—	—	—	7 880	30,0	262
1979	То же	—	—	—	8 079	32,4	249
1980	» »	6 410*	42,4	151	6 850	30,7	223

Продолжение

Год	Участок	Дождевание			Разница, %	
		суммарное водопотребление, м³/га	урожайность, ц/га	удельное водопотребление, м³/ц	по суммарному водопотреблению	по удельному водопотреблению
1976	Совхоз № 10а, Голодная степь	—	—	—	—19,00	—23,2
1977	То же	—	—	—	—13,80	—31,2
1974	Совхоз № 9, Каршинская степь	8 160	27,0	303	+3,00	+11,3
1974	НИСТО	7 960	28,0	284	+1,30	+7,8
1979	То же	8 057	29,1	277	—0,02	+10,1
1980	» »	—	—	—	—6,90	—32,0
Итого:	средняя разница между ВПО и БО				—13,2	—28,8
	средняя разница между БО и дождеван				+1,43	+9,73

* Исправлено с учетом испарения с 22.04 по 26.05 — 950 м³/га.

стационарных поливных трубопроводов, не требующих больших затрат труда для управления, с более частым расположением поливных устройств. Для таких грунтов может быть рекомендовано высокочастотное орошение с ординатой, почти равной изменяющейся ординате водопотребления. Высокочастотное орошение в последние годы все шире распространяется в орошении. Этот ме-

38. **Изменение водопотребления хлопчатника в зависимости от способа орошения**

Способ орошения	Средняя влажность, % ППВ		Суммарное испарение, доля к бороздковому	Транспирация, % от суммарного испарения	Физическое испарение, % к суммарному испарению
	поверхности	корнеобитаемого слоя			
Бороздковое	50	80	1.00	57,0	43,0
Дождевание	58	75	1,03	46,0	54,0
Внутрипочвенное	25	85	0,92	67,0	33,0
Капельное	25	85	0,71	87,4	12,6

тод можно применять при стационарном дождевании, внутрипочвенном и капельном орошении, а также при поверхностном поливе, но при ограниченной длине борозд. Например, в условиях, аналогичных Хорезму.

На основании обобщения результатов опытов САНИИРИ за 1975—1980 гг. и других учреждений определена типовая динамика влажности для каждого способа (табл. 37), по которой можно установить среднюю влажность и для периода вегетации, определены относительные изменения суммарного испарения, а также взаимоотношения между физическим испарением и транспирацией при дождевании, поверхностном внутрипочвенном и капельном орошении (табл. 38). Из таблиц видно, что расчетные и опытные данные совпадают.

Дождевание в аридной зоне повышает непродуктивную долю водопотребления, а внутрипочвенное и капельное орошение, — особенно транспирацию. Наиболее распространенным в аридной зоне является бороздковое орошение.

В этом случае техника полива зависит при регулируемой подаче от длины борозды, свойств почвы и уклонов.

Для выбора оптимального типа техники полива по экономическому критерию (в дополнение к технологическим), на основании разработанной методики, учитывающей наряду с приведенными затратами на эксплуатацию и строительство еще водный фактор, КЗИ и затраты труда, определим приведенную стоимость техники полива по формуле

$$Э_{mn} = E_{mn} + n\,[K_{mn} + (1 - \text{КЗИ})\,\overline{K}_в - N\overline{K}_к] + \\ + Q_р\,(1 - \eta_{mn})\,Ц_в \pm УЦ. \qquad (51)$$

39. Условия применения и сравнительные

Показатель	МДО	Дождевание				
	1	2	3	4	5	6
						Климатиче
Скорость ветра не более, м/с	1,5	1,5	3	3	5	1,5
Влажность воздуха выше, %	50	50	50	50	50	50
Дефицит испарения не более, мм в год	500	500	500	500	500	500
						Почвенные
Засоление	—	—	—	—	—	—
Водоудерживающая способность почв	+	+	+	+	+	+
Скорость впитывания более, мм/мин	+	12	12	12	10	10
Глубина слоя увлажнения не более, м	0,5	0,8	0,8	0,5	0,5	0,5
					Геоморфологические и гидрогео	
Уклон не более	+	0,004	+	0,05	0,005	0,005
Минерализация грунтовых вод не более, г/л	+	2,0	1,0	1,0	1,0	1,0
УГВ не более, м	+	5,0	+	+	+	5,0
Изрезанность рельефа	+	Средняя	+	Слабая		Средняя
Высота растений, м	+	2	5	2	2	3
Схема полива	+	+	+	+	+	+
КПД техники полива	0,5	0,6	+	0,75		
Затраты труда одного человека при норме в 1000 м³/га, ч	0,50	5,44	1,20	17,00	0,65	5,30
Удельные капиталовложения, тыс. р/га	3,60... 4,50	0,70... 0,85	2,00... 2,20	0,95... 1,40	0,88... 1,40	0,70... 0,85
Стоимость поливов, р/га	106... 150	106... 125	105... 120	120... 132	120... 154	106... 122
КЗИ	0,96	0,94	0,96	0,98	0,94	0,94
Средний поливной ток на человека, л/с	200	300	105	180	300	400
Потребное давление среднее, МПа	450	250	450	450	650	450
Приведенная стоимость техники полива, р/га	1 029	460	587	572	521	458

Примечание: *1* — стандартное МДО; *2* — полив машинами типа ДДА; «Кубань»; *6* — дальнеструйное фронтальное дождевание; *7* — капельное; *8* — по бороздам из ок-арыков, армированных салфеткой или чимом; *11* — полив шин; *13* — полив с помощью автоматизированных лотков; *14* — стационарные

показатели различных способов полива

Внутрипочвенное			Поверхностное				
7	8	9	10	11	12	13	14
ские условия							
+	+	+	+	+	+	+	+
+	+	+	+	+	+	+	+
+	+	+	+	+	+	+	+
условия							
+	—	—	+	+	+	+	+
+		+		Большая или средняя			
+	+	+	+	+	+	+	+
+	0,3	0,5	1,5	1,5	1,5	1,0	1,0
логические условия							
+	0,001	0,001	0,01	0,01	0,0005	0,006	0,03
+	0,5	3,0	+	+	+	+	+
+	+	+	+	+	+	+	+
+	Слабая		+	Слабая			+
+	+	+	+	+	+	+	+
+	+	+	+	+	+	Попереч-	+
						ная	
0,95	0,9	0,85	0,6	0,76	0,82	0,77	0,82
0,35	0,54	0,24	7,50	3,20	2,20	0,60	0,40
1,50...	2,10...	0,80...	0,30...	0,60...	0,95...	0,80...	1,20...
2,50	3,10	1,10	0,60	0,85	1,30	1,20	1,60
23...46	35...51	22...35	35...48	40...55	100...	32...	28...36
					120	38	
0,98	0,98	0,98	0,95	0,96	0,98	0,96	0,98
12	35	150	17	65	75	150	120
125	53	8	1,5	32	60	52	65
226	330	270	481	359	377	355	328

3 — стационарное дождевание; *4* — полив машинами «Волжанка»; *5* — то же, внутрипочвенное стационарное; *9* — субирригация; *10* — нерегулируемый полив гибкими и жесткими поливными трубопроводами; *12* — полив с помощью ма- трубопроводы с автоматизированной раздачей.

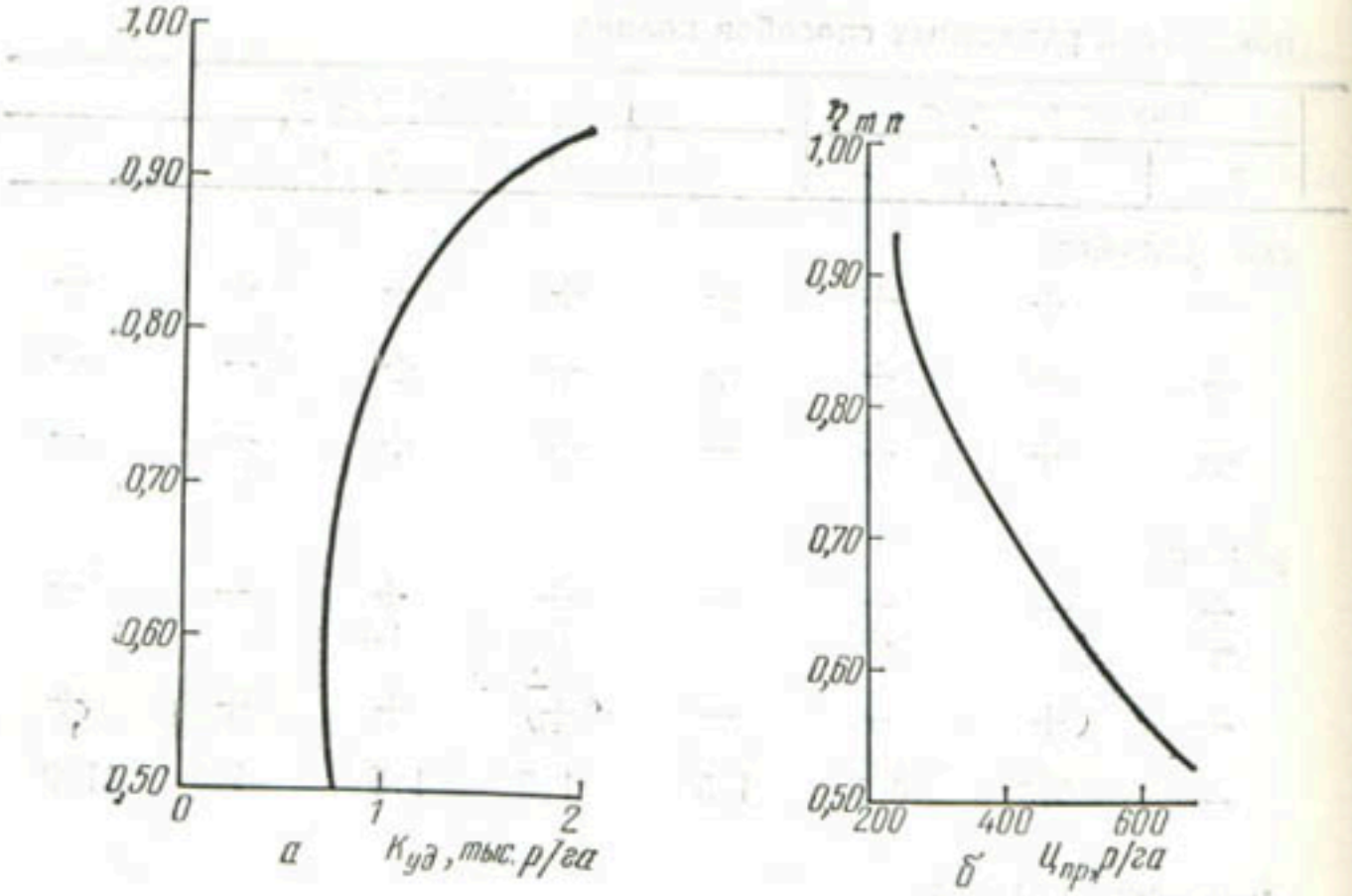


Рис. 40. Зависимость КПД орошаемого поля от удельных капитальных вложений (*а*) и приведенных затрат (*б*).

Сводные результаты для хлопка приведены в последней графе таблицы 39. В расчете принято $Ц_в = 0{,}12$ р/м³ для Сырдарьи; $K_s = 2500$ р/га; $\overline{K_к} = 1400$ р/чел.

Указанная оценка показывает неэкономичность в большинстве случаев дождевания, за исключением участков с влажностью воздуха 50...60% и КПД техники полива 0,85. Оптимальный тип техники полива — управляемое поверхностное и капельное орошение.

Проведенные расчеты позволили также установить кривые связи удельных капиталовложений и приведенных затрат на технику полива от КПД техники полива (рис. 40), которые могут быть использованы в последующих расчетах.

ОПТИМИЗАЦИЯ МЕЛИОРАТИВНЫХ РЕЖИМОВ

Оптимизацию мелиоративных режимов проводят по минимуму суммарных затрат воды на единицу урожая:

$$\frac{\frac{O_р(1-\beta)}{\eta} - D + C\frac{C_{пдк} - C_в}{C_{пдк} - C_{ор}}}{y} \rightarrow \min, \qquad (52)$$

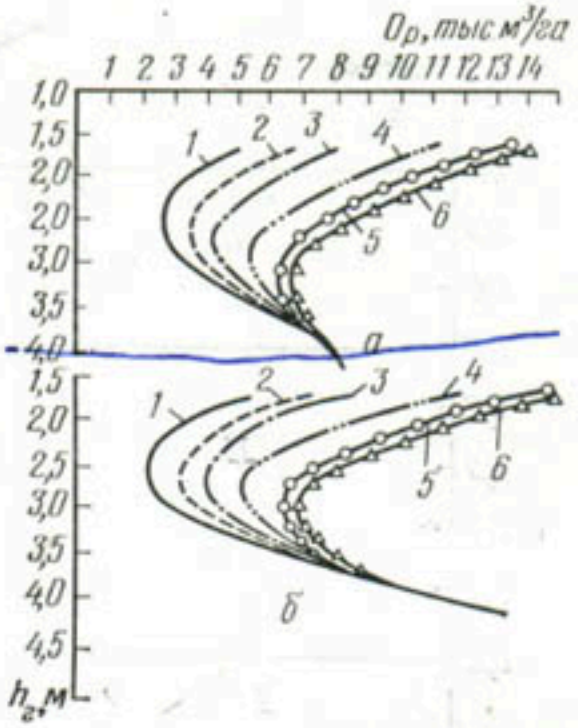


Рис. 41. Изменение суммарных расходов воды от глубины грунтовых вод для Голодной степи при различной минерализации грунтовых вод:

а — без учета урожая; *б* — с учетом урожая; *1* — 1 г/л; *2* — 2 г/л; *3* — 3 г/л; *4* — 5 г/л; *5* — 10 г/л; *6* — 15 г/л.

при известных натурных условиях ($h_к$; K; E_m+U; $C_{ор}$; $C_г$; $\theta_{ппв}$ и $\theta_{вз}$; $O_с$; α). Сначала на основе приведенных выше рекомендаций выбираем способ полива, по таблице 39 выбираем КПД техники полива.

Затем, задаваясь глубинами грунтовых вод (1...5 м через 0,5 м) и для каждой из них глубиной дренажа (2...5 м), последовательно подставляя значения минерализации грунтовых вод (1...15 г/л), находим (по рис. 41)

$$\overline{K} = f\left(\frac{h_г - \delta}{h_к}\right).$$

Для выбранного мелиоративного режима ($(h_г - \delta)/h_к$) и техники полива определяем $t_{вег}$, δ и, подставляя характеристики грунтов, получаем из формулы $(E_m+U)_{г_0}$, а затем и оросительную норму

$$O_р = \frac{(E_m - U)_0 \overline{K} - O_с(1-\alpha) - (E_m - U)_г}{\eta_{mn}}. \qquad (53)$$

Затем по формуле (49) определяем C_u и по формуле (48) — β.

Дренажный модуль рассчитываем по уравнению водного баланса грунтовых вод, л/(с·га):

$$q_{гр} = \frac{O_р[(1-\eta_{mn})d_2'' + \beta] - \dfrac{O_р(1-\eta_с)d_1'' + O_с\alpha - (\underline{П} - \underline{О})}{\eta_с}}{t_{вег}}, \qquad (54)$$

где $t_{вег}$ — продолжительность вегетационного периода.

В то же время дренажный модуль должен быть равен водоприемной способности горизонтального дренажа по одной из известных формул, например

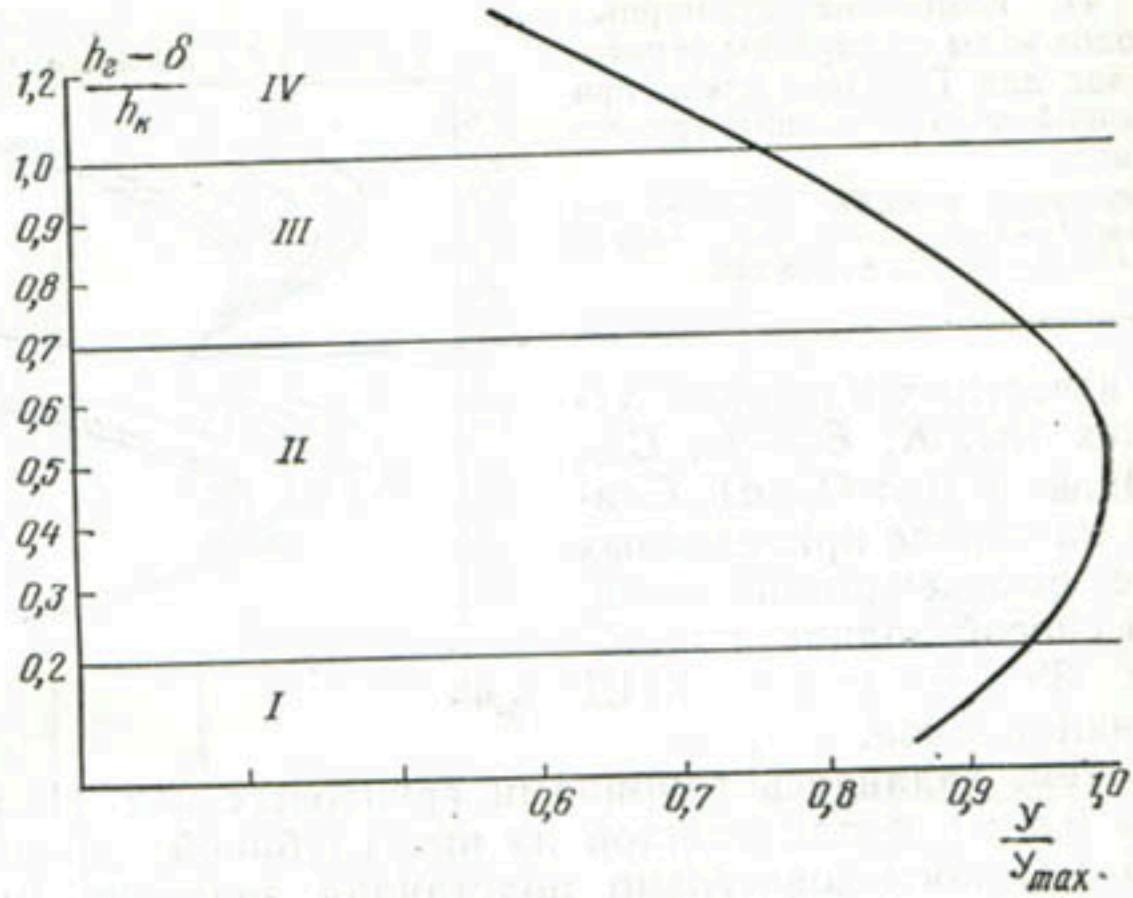


Рис. 42. Влияние относительного уровня грунтовых вод и мелиоративного режима на урожайность хлопчатника:
I — гидроморфный режим; II — полугидроморфный; III — полуавтоморфный; IV — автоморфный.

С. Ф. Аверьянова, А. Н. Костякова, А. Я. Олейника, где $q_{др}$ явится функцией действующего напора $(H—h_{др})$ и междренного расстояния B.

Для вертикального дренажа можно воспользоваться формулой Н. М. Решеткиной и Х. И. Якубова

$$q_{др} = f(R_к),$$

где $R_к$ — радиус влияния скважин вертикального дренажа.

В результате приведенной последовательности расчетов вычисляем по суммарному расходу воды оптимальное водопотребление без учета возврата. Например, для Голодной степи (рис. 40, *а*) при минерализации грунтовых вод 1 г/л оптимальная глубина грунтовых вод составляет 2 м, 2...5 г/л — 2,5 м, более 5 г/л — 3... 3,5 м на фоне горизонтального дренажа.

Следовательно, при минерализации грунтовых вод 1...2 г/л оптимальным мелиоративным режимом является полугидроморфный, а при большей минерализации — полуавтоморфный.

Зависимость урожайности хлопчатника от мелиоративного режима, построенная по данным различных авторов (Меднис, 1973; Киселева, 1973; Легостаев, 1972, и др.), приведена на рисунке 42. Максимальная урожайность наблюдается при относительной глубине грунтовых вод 0,4...0,6 ($(h_г—\delta)/h_к$), что соответствует полугидроморфному режиму. При большей глубине их урожайность снижается на 5...20% в пределах полуавтоморфного режима и на 30% и более при автоморфном. При более близком залегании грунтовых вод отмечается снижение урожайности на 5...10% за счет переувлажнения.

С точки зрения водного и воздушного питания растений наиболее благоприятным является полугидроморфный режим. Устойчивость показателей урожайности больше при этом режиме и в производственных условиях. При полугидроморфном режиме достигается большее постоянство в поддержании единого режима влажности за счет подпертого капиллярного увлажнения снизу как по времени, так и по площади. Одновременно полугидроморфный режим препятствует снижению коэффициента полезного действия удобрений, их бесполезному вымыву.

Например, для Голодной степи оптимальным по расходу воды при минерализации грунтовых вод 1 г/л является полугидроморфный режим с глубиной этих вод 2 м, при минерализации 2...10 г/л — 2,5 м, более 10 г/л — полуавтоморфный режим с глубиной грунтовых вод 3 м.

На фоне глубокого закрытого горизонтального и вертикального дренажа при промывном режиме орошения в Голодной степи установился полуавтоморфный режим от $(h_г—\delta)/h_к=0{,}68$ при глубине грунтовых вод 2,4 м до $(h_г—\delta)/h_к=0{,}86$ при глубине 3 м (на землях с вертикальным дренажем). В результате средняя оросительная водоподача брутто составила 7,5... 10,2 тыс. м³/га (минимум в 1969 г. 6,28 тыс. м³/га) при водопотреблении за год 10,8...12,2 тыс. м³/га. Дренажный и сбросной сток за этот же период колебался от 0,91 до 2,89 м³/га. По всей площади обеспечивались снижение соленакопления и ликвидация первичных солончаков, уменьшение средне- и слабозасоленных земель при интенсивности отвода солей от 3 до 18,6 т/га (29,6 т/га в 1969 г.).

40. Сравнительный баланс воды орошаемого массива м³ на 1 га (1972 г.)

Статья баланса	Старая зона орошения (по Н. М. Решеткиной, Х. И. Якубову)	Новая зона орошения
Осадки	2 258	2 460
Водоподача	13 441	8 950
Приток извне	—	120
Итого приход	15 699	11 530
Испарение суммарное	7 842	8 500
Увеличение влажности зоны аэрации	—	600
Изменение уровня грунтовых вод	20	530
Дренажный и сбросной сток	7 877	2 130

Для сравнения можно отметить, что в старой зоне Голодной степи (табл. 40), где на землях с открытым дренажем средняя глубина грунтовых вод соответствует 2...2,3 м, оросительная водоподача колеблется от 12,1 до 15,6 тыс. м³/га при общем водопотреблении 15,2... 19,4 тыс. м³/га и дренажном стоке от 4,8 до 8,5 тыс. м³/га. Общий вынос солей при неоптимальном режиме колеблется от 15 до 28 т/га.

В других орошаемых районах Средней Азии с неоптимальным мелиоративным режимом суммарное водопотребление еще больше, а вынос солей (Бухара, Хорезм, Ташауз) за последние 5 лет составил 55...68 т/га.

На основе приведенной методики в САНИИРИ проведен анализ удельного водопотребления и водоотведения по Узбекистану в увязке с изменением характера стока рек Сырдарьи и Амударьи, а также изменения этих показателей в связи с совершенствованием оросительных систем. Расчеты осуществляли в два этапа на перспективу: I — доведение КПД до критериального технического уровня (η=0,78...0,8) и переход на оптимальный мелиоративный режим; II — полная автоматизация межхозяйственной и внутрихозяйственной сети (η_c= =0,85...0,88), повышение КПД техники полива до 0,75 (табл. 41).

Расчеты показывают, что предлагаемые меры и особенно оптимизация мелиоративных режимов позволяют не только снизить удельное водопотребление, обеспе-

чить увеличение площадей орошения по республике, но и снизить минерализацию воды в реках Сырдарье и Амударье.

ЭКСПЛУАТАЦИЯ ОРОСИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ

Установление параметров оросительных систем исходя из оптимального уровня еще не означает, что в процессе работы мы действительно будем иметь сниженные расходы воды на единицу урожая. Соблюдение расчетных показателей затрат воды на единицу урожая во многом зависит от организации хозяйственного, материально-технического и других видов обеспеченности

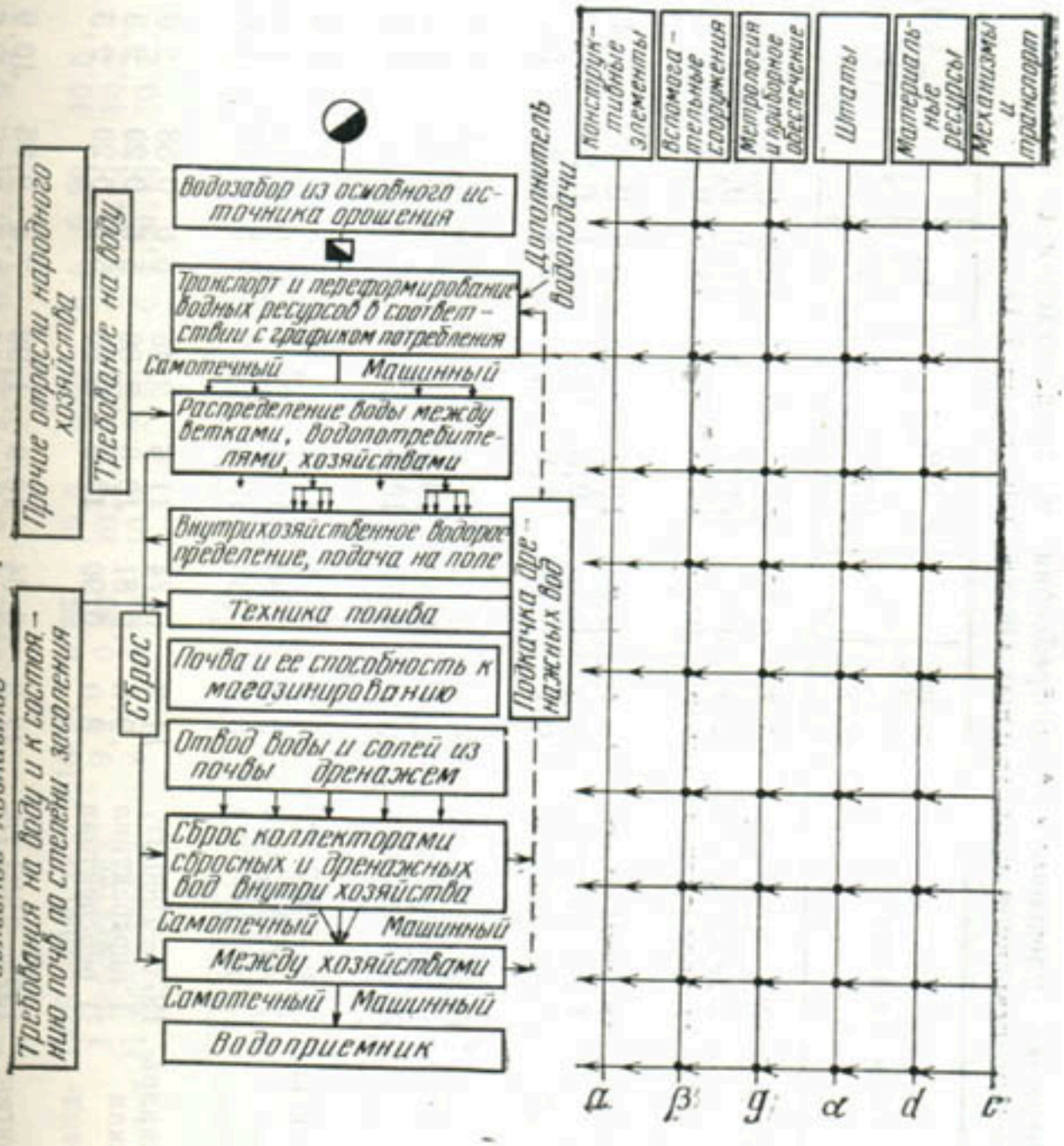


Рис. 43. Связи основной целевой функции оросительной системы.

41. Динамика удельного водопотребления и водоотведения по Узбекистану в связи с перспективой совершенствования оросительных систем, тыс. м³ на 1 га

Область и период		Удельный водозабор, тыс. м³/га	η_c	$(E_m+И)$, тыс. м³/га	$h_г$, м	$О_р$, тыс. м³/га	β	$(E_m+И)_г$, тыс. м³/га	$Д+С$, тыс. м³/га	$С_о$, г/л	$С_{д+с}$, г/л	$S_{др}$, т/га	$\pm\Delta S$, т/га
КК АССР	1976—1980 гг.	33,7	0,55	20,6	1,46	16,3	0,25	3,8	6,7	1,15	3,40	22,80	+16,00
	I перспектива	19,9	0,73	14,2	2,40	12,1	0,10	1,6	5,2	1,20	4,00	20,80	—3,20
	II перспектива	16,6	0,83	13,6	2,40	11,5	0,10	1,6	3,3	1,20	6,10	20,10	—0,20
Андижанская	1976—1980 гг.	16,4	0,65	10,7	1,98	6,6	0,47	2,4	5,5	0,43	1,65	9,07	—2,02
	I перспектива	10,3	0,78	9,5	2,30	6,1	0,20	1,7	3,5	0,48	1,60	5,60	—1,60
	II перспектива	9,1	0,88	9,5	2,30	6,1	0,20	1,7	2,3	0,40	1,80	4,14	—0,52
Бухарская	1976—1980 гг.	16,9	0,65	11,4	2,22	7,6	0,30	2,7	4,7	0,74	4,65	21,9	—9,40
	I перспектива	12,1	0,80	10,4	2,50	7,0	0,25	2,3	2,6	0,70	5,00	13,00	—4,60
	II перспектива	10,7	0,90	10,4	2,50	7,0	0,25	2,3	1,2	0,70	6,80	8,16	—0,60
Джизакская	1976—1980 гг.	10,1	0,74	11,3	2,54	7,8	0,10	1,8	2,1	1,03	7,63	16,03	—5,60
	I перспектива	9,9	0,80	10,3	2,80	6,5	0,10	1,6	1,5	1,00	8,00	12,00	—2,10
	II перспектива	8,9	0,89	10,3	2,80	6,5	0,10	1,6	1,0	1,00	9,20	9,20	—0,30
Кашкадарьинская	1976—1980 гг.	14,2	0,74	11,6	2,45	6,0	0,58	2,8	1,9	0,90	4,47	8,50	+4,30
	I перспектива	9,0	0,81	10,6	2,80	5,5	0,20	2,3	1,5	0,50	5,00	7,50	—3,00
	II перспектива	8,0	0,90	10,6	2,80	5,5	0,20	2,3	1,4	0,50	6,10	8,60	—0,30
Наманганская	1976—1980 гг.	17,3	0,64	10,9	1,98	7,4	0,35	10,9	8,0	0,52	1,50	12,00	—0,30
	I перспектива	11,9	0,78	9,6	2,25	6,8	0,25	9,6	14,0	0,40	2,00	8,00	—2,00

	II перспектива	10,3	0,89	9,6	2,25	6,8	0,25	9,6	2,4	0,40	2,20	5,36	—1,26
Самаркандская	1976—1980 гг.	10,7	0,65	10,5	2,64	6,6	0,20	10,5	3,0	0,50	1,70	5,10	—0,25
	I перспектива	9,9	0,80	10,2	2,70	6,4	0,10	10,2	2,9	0,50	1,80	5,22	—0,27
	II перспектива	8,6	0,90	10,2	2,70	6,4	0,10	10,2	1,9	0,50	2,40	4,56	—0,26
Сурхандарьинская	1976—1980 гг.	17,1	0,72	11,2	2,62	7,3	0,52	11,2	5,0	0,53	2,74	13,70	—4,54
	I перспектива	11,7	0,80	10,5	2,80	6,8	0,25	10,5	3,5	0,60	2,80	9,80	—2,80
	II перспектива	11,3	0,90	10,5	2,80	6,8	0,25	10,5	3,1	0,00	3,00	9,10	—2,30
Сырдарьинская	1976—1980 гг.	12,7	0,65	11,3	2,43	7,7	0,18	11,3	4,9	1,38	3,74	18,40	—0,90
	I перспектива	10,2	0,80	10,0	2,80	6,6	0,10	10,0	2,3	1,00	4,60	11,00	—0,70
	II перспектива	9,1	0,87	10,0	2,80	6,6	0,10	10,0	1,8	1,00	5,30	9,54	—0,40
Ташкентская	1976—1980 гг.	15,0	0,64	10,1	2,34	6,4	0,36	10,1	4,6	0,46	1,90	8,74	—1,84
	I перспектива	9,8	0,78	9,9	2,40	6,3	0,10	9,9	3,3	0,50	2,00	6,60	—1,70
	II перспектива	8,6	0,88	9,9	2,40	6,3	0,10	9,9	2,1	0,50	2,20	4,70	—0,40
Ферганская	1976—1980 гг.	17,7	0,63	10,4	2,00	7,2	0,42	10,4	7,0	0,51	2,49	17,43	—8,40
	I перспектива	12,0	0,78	9,6	2,20	6,9	0,20	9,6	3,9	0,50	2,70	10,53	—4,53
	II перспектива	10,1	0,90	9,6	2,20	6,9	0,20	9,6	2,0	0,50	3,00	6,00	—1,20
Хорезмская	1976—1980 гг.	31,8	0,50	15,7	1,43	9,1	0,56	11,2	15,6	0,82	3,41	48,60	—22,50
	I перспектива	12,8	0,75	9,6	2,30	7,3	0,20	9,6	3,6	0,85	3,80	13,70	—2,90
	II перспектива	11,0	0,86	9,6	2,30	7,3	0,20	9,6	1,8	0,90	5,20	10,30	—0,40
Итого по республике	1976—1980 гг.	17,5	0,63			7,9	0,32		5,0				
	I перспектива	11,6	0,79			7,0	0,17		3,2				
	II перспектива	10,2	0,88			6,9	0,17		1,0				

орошаемого земледелия сельскохозяйственными органами, достижения ими и перевыполнения плановых показателей. Но одним из первостепенных условий этого является надежность эксплуатации оросительной системы, ибо она определяет и фактическую продуктивность земель, и возможность соблюдения расчетного расходования воды.

Графически оросительная система может быть представлена сочетанием последовательно выполняемых процессов водоподачи — от водозабора до поля и от поля до водоприемника (рис. 43) — в сочетании с обеспечивающими средствами. При нормальном их взаимодействии, создаваемом эксплуатацией оросительной системы, на всей площади, обслуживаемой ей, должны соблюдаться два условия:

в течение всей вегетации режим влажности для любой точки участка, орошаемого системой, выразится через

$$[\theta]_{0,7\text{ППВ}} \leqslant \theta_{ij}(t) \leqslant [\theta_{\text{ППВ}}\Big|_{z=\delta}^{z=z_0}; \qquad (55)$$

в течение сезона степень засоления почв для любого участка, орошаемого системой

$$[S] > S_{ij}(t) < S_{ij}(t-1)\Big|_{z=\delta}^{z=0}, \qquad (56)$$

где S — степень засоления почвогрунтов.

В зависимости от правильности проектных решений основные конструктивные элементы определяют проектную работоспособность системы, как характеристику возможных отклонений от средних параметров расчетного участка при полном соблюдении всех допусков в процессе строительства. Эти отклонения происходят из-за природной неоднородности почвогрунтов, грунтовых вод и других естественных субстанций орошаемого массива, а также недоучета полного диапазона изменений вследствие недостаточности объема изысканий, а также недостаточно полного охвата при проектировании всего процесса взаимодействия конструктивных элементов при эксплуатации вследствие условности представления расчетных схем.

Здесь понятие «работоспособность системы», по Ц. Е. Мирцхулаве (1974), характеризует степень выполнения системой требований, установленных для основных параметров (в данном случае — водообеспеченности и степени рассоления).

Обозначим эту проектную работоспособность оросительной системы через возможность проектных отказов водообеспеченности (или рассоления):

$$1-\sum_{i=1}^{F}\sum_{0}^{T}\frac{[\theta_i(t)]-[\overline{\theta}_{ij}(t)]}{[\theta_{ij}(t)]}=\overline{\Delta}(t), \qquad (57)$$

где черточка над индексом обозначает возможные по проекту средние показатели; $\overline{\Delta}t$ — обеспеченность проектной водоподачи (или рассоления).

Например, при поливе по бороздам без регулировки одинаковой струей при идеальной проектной планировке под наклонную плоскость неравномерность увлажнения, по данным Н. Т. Лактаева, колеблется от 20 до 30% для разных типов водопроницаемости (1977); при регулировке струи эта неравномерность снижается до 5...8%. Здесь Δt соответственно равно 70...80% или 92... 95%.

Другой вид проектной водообеспеченности может возникнуть при недостаточных запасах в оросительных каналах для удовлетворения «пиковой» потребности в воде.

Далее должна быть оценена работоспособность по результатам строительства $\Delta_c(t)$ (аналогично влияние отклонений в качестве строительства на неравномерность водообеспеченности или рассоления земель).

Наконец, основные отклонения могут возникнуть при эксплуатации по целому ряду причин $\Delta_э(t)$: при нарушении режима работы системы вследствие недостатка против нормативов трудовых ресурсов λ_t; вспомогательных сооружений S_i; транспорта и механизмов (подвижных средств) M_{fi}; запасов материалов ($З_i$); при недостатке информативности (I_{ni}); при недостаточной квалификации обслуживающего персонала; при ухудшении качества работы сооружений вследствие износа и потери части управляемости и работоспособности.

Первое и второе условия могут быть сформулированы как степень отклонения водоподачи в зависимости от водообеспеченности и нормативной потребности вспо-

могательных подсистем и средств, выражающаяся через

$$\sum_{i=1}^{F}\sum_{0}^{T}\frac{[\theta_{ij}(t)]-\theta_j(t)}{[\theta_{ji}(t)]}=$$

$$=f\left(\frac{\lambda\alpha}{[\lambda]};\ \frac{S_{t\beta}}{[S_t]};\ \frac{\mu_{fc}}{[\mu_f]};\ \frac{З_{id}}{[З_i]};\ \frac{I_{nig}}{[I_{ni}]}\right), \quad (58)$$

где α, β, c, d, g — соответствующие матричные коэффициенты (см. рис. 43).

Наконец, третье условие — снижение работоспособности и выход из строя отдельных сооружений и их частей в зависимости от плана проведения ремонтных работ и технического обслуживания системы, то есть поддержание системы на начальном уровне работоспособности.

Без проведения ремонтных работ отказы нарастают, работоспособность снижается, отклонения в водоподаче и водоотводе, а стало быть, соленакопление увеличиваются. При выполнении работ по аварийной схеме работоспособность на определенный период времени понижается и в целом также остается меньше единицы. При профилактическом техническом обслуживании системы работоспособность поддерживается на 100%-ном уровне или близком к нему. Поэтому третье условие может быть сформулировано так:

$$\sum_{i=1}^{F}\sum_{0}^{T}\frac{[\overline{\theta}_{ij}(t)]-\theta_{ij}(t)}{\overline{\theta}_{ji}(t)}=f(M_d;\ \varphi_p), \quad (59)$$

где M_d — объем профилактических или ремонтных работ; φ_p — частота отказов в зависимости от характера конструкций и их ремонтной пригодности.

В результате учета работоспособности системы при идеальном обеспечении орошаемого земледелия со стороны сельского хозяйства продуктивность орошаемых земель снизится на

$$\sum_{0}^{m}\sum_{j=1}^{F_t}\sum_{i=1}Ц_{ij}I_{ij}f_{ij}\Phi\{[1-\overline{\Delta}(t)][1-\Delta_c(t)][1-\Delta_э(t)]\},$$

где Φ — функционал «работоспособность — урожай».

Учитывая, что работоспособность системы вследствие эксплуатации и строительства является регулируе-

мой в соответствующих процессах в зависимости от их осуществления ясно, что правильные решения основных конструктивных элементов и их увязка для стабильной водообеспеченности и управления уровнем грунтовых вод являются определяющими в работе технически совершенных оросительных систем.

Идеальная увязка всех ранжированных вниз звеньев оросительной сети осуществлялась бы, если бы требования на изменение водопотребления немедленно передавались по всем элементам до водозабора и мгновенно удовлетворялись до самого поля. Здесь вступает в действие фактор информативности и инертности системы: первый может быть решен существующими средствами связи и информации с переходом на АСУ; второй в зависимости от длины всех магистралей и каналов будет иметь определенное запаздывание, которое должно быть учтено объемом резервирования. В любой момент времени

$$\sum q_{ni} = Q \pm \frac{\Delta W_{доб}}{t_д + t_з},$$

где $t_д$ и $t_з$ — соответственно время добегания и запаздывания; $\Delta W_{доб}$ — объем изменяющейся водоподачи.

Однако главным в увязке всех звеньев является возможность восприятия не только изменяющихся требований на воду, но и технологических изменений в графиках полива, суммируемых по всей площади и при всей дискретности обслуживаемых подкомандных площадей.

М. Ф. Натальчук (1969), впервые оценивая суммарную надежность работы для хорошо эксплуатируемой системы в зависимости от надежности звеньев, определив их соответственно около 0,85...0,95, получил общую надежность как произведение всех составляющих, равную 0,66, сделав вывод о необходимости дополнительного резервирования 34%.

Естественно, что максимальная работоспособность системы была бы достигнута в том случае, если бы расходы каждой старшей ступени каналов равнялись сумме возможных максимальных расходов подчиненной сети, но тогда это привело бы к завышению их пропускной способности. Поэтому задача состоит в том, чтобы при проектировании выбрать элементы техники полива с максимальной равномерностью водопотребле-

ния и оценить необходимость резервирования на каждой ступени восходящих конструктивных элементов в зависимости от вероятности совпадения типовых максимумов водопотребления в различных звеньях.

Суммарные несовпадения технологических перерывов и пиковых потреблений техники полива с водоподачей приводят к большим отклонениям от водопотребления или к сбросам.

Так, по данным Г. Ю. Шейнкина (1970), на инженерных системах Таджикистана организованные сбросы из-за таких несовпадений составляют от 11 до 29%, в среднем около 20%, по данным М. Ф. Натальчука (1969), — около 20%, а на совершенной системе ЮГК — 11,8% без учета сброса с полей орошения.

Объем резервирования излишков воды в процессе отказов от нее определяется исходя из различных уровней возможного рассогласования — «магистраль — межхозяйственный уровень — хозяйственный уровень — поле». Он покрывается за счет создания емкости бьефов и резервных емкостей суточного регулирования на каналах:

$$W_{\text{б}} = \sum_{t=1}^{F} \{Q(t) - [Q(t)]\} t. \qquad (60)$$

Объем необходимого резервирования для восприятия сниженной работоспособности и возможных отключений в водоподаче определяется как следствие работоспособности системы и способности почв к магазинированию, выступающих уже как огромный естественный резерв почв во влагообеспеченности:

$$W_{\text{рез}} = [1 - \overline{\Delta}(t)\,\Delta_{\text{с}}(t)\,\Delta_{\text{э}}(t)]\,W_{\text{с}} - W_{\text{в}}, \qquad (61)$$

где $W_{\text{рез}}$ — объем резервирования; $W_{\text{с}}$ — объем суточного водопотребления; $W_{\text{в}}$ — резерв магазинирования почвы.

В особо влагоемких почвах, таких, как в Голодной степи, резервирование магазинированием превышает зачастую недодачу по воде до 78...80%, что наблюдалось ряд лет на системах ЮГК и КМК без ущерба для урожая и растений. В то же время, как правильно отмечает Н. Т. Лактаев, несинхронность в водоподаче всех

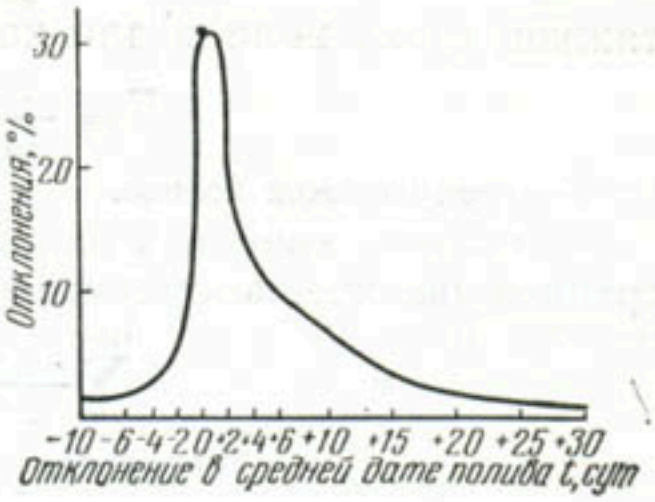


Рис. 44. Гистограмма распределения отклонений в сроках полива.

звеньев в других условиях приводит к использованию в течение всей вегетации каналов на форсированных режимах. Здесь дело, конечно, не в необходимости увязать суточную неравномерность водозаборов, которая в условиях невозможности срегулировать такое резервирование в бьефах внутрихозяйственных каналов обычно передается в каналы старшего порядка, особенно в крупные, идущие по горизонталям с большим объемом бьефов, где создаются емкости суточного регулирования.

Потребность формирования расходов в каналах вызвана не превышением потребности в воде над расчетной ординатой из-за более жестких климатических условий, так как в аридной зоне принята 90%-ная обеспеченность расчетных параметров водопотребления. Форсирование расходов проводят в основном для удовлетворения пиковых потребностей, связанных с сельскохозяйственным производством и с отклонениями в водоподаче по условиям водозабора, организационным причинам и т. д.

Анализ обработанных данных по проведению поливов в соответствии с планом показывает, что по кривой распределения их по отношению к плану (рис. 44) отклонение сроков полива с обеспеченностью до 90% в годы оптимальной водности составляет 10 сут. Поэтому если принять этот срок нормальным отклонением, то у почвогрунтов с высокой способностью к магазинированию это отклонение (10 сут) приведет к снижению влажности до 62% ППВ против допустимых 70% и к увеличению ординаты гидромодуля на 20...25%. У слабомагазинирующих грунтов влажность снижается до 50% ППВ, а ордината гидромодуля увеличивается на 60%.

Определим общее необходимое увеличение пропускной способности каналов, пользуясь кривой распределения. Увеличение ординаты гидромодуля в связи с от-

тяжкой срока полива для каждого полива составляет

$$\bar{n} = \frac{t_п + \bar{t}}{t_м + t_п},$$

где $\bar{t}$ — срок оттяжки полива.

С учетом кривой распределения $\lambda_к$ обеспеченности среднее увеличение ординаты составит

$$\bar{n} = \frac{\sum_{0}^{100} \frac{t_п + \bar{t}}{t_м + t_п} \lambda_к}{100}. \quad (62)$$

Такой подход позволяет определить суммарную величину форсировки гидромодуля каналов в зависимости от увязки с расчетными параметрами техники полива и отклонений в подаче воды по каналам, согласовав со способностью почв к магазинированию, которое может быть рассмотрено как определенное естественное резервирование водного ресурса:

$$q_р = q_0 \chi^{\bar{n}}, \quad (63)$$

где χ — коэффициент неравномерности ординат поверхностного полива.

В результате коэффициент форсировки для крупных каналов в грунтах с большой водоудерживающей способностью оказывается достаточным в пределах 15... 20% (грунты Голодной степи, бóльшая часть Ферганской долины), а при слабоводоемких грунтах он возрастает до 35...40%, что подтверждает работа хорезмских и ташаузских каналов, которые в течение вегетации работают с форсировкой при гидромодулях 1,4... 1,6 л/(с·га).

Эксплуатационные мероприятия должны обеспечить высокую и постоянную работоспособность системы путем наращивания по мере износа со временем t интенсивности работ по профилактическому обслуживанию систем.

Следует отметить, что на оросительных системах со сниженной работоспособностью при выращивании высокодоходных культур поливальщики и работники агротехнической службы обычно не допускают недополива или недопромывки земель. Снижение работоспособности они пытаются компенсировать подачей лишнего количества воды, рассчитанной на самую неводообеспеченную делянку или на самую засоленную точку. В результате возникают значительные перерасходы воды —

сверх расчетных и даже сверх оптимальных, если не учитывать работоспособность систем. При недополиве, или недопромывке, или переполиве и сниженной работоспособности будет снижаться продуктивность земель. Поэтому в недифицитных бассейнах рек и достаточно водообеспеченных оросительных системах с низкой стоимостью формирования водных ресурсов в зависимости от разных типов культур можно в различной степени компенсировать работоспособность системы повышенными расходами воды.

В бассейнах с дефицитом воды в зависимости от выращиваемых культур, разницы в продуктивности культур, выращиваемых при орошении и на богаре, а также мелиоративного режима назначают различный класс систем, отличающихся работоспособностью. Чем выше потери урожайности культур, тем выше должен быть класс систем.

Для количественной оценки этих показателей перейдем от оптимизации параметров системы по воде и по расчетным проектным показателям к оптимизации целевой функции эксплуатации оросительной системы с учетом всех затрат воды, всех экономических показателей по приведенным затратам и влияния работоспособности на продуктивность земель:

$$\int_0^T [W_в(t) Ц_{вд} + W_д(t) Ц + W_{кд}(t) Ц_{кд}]\, dt + Э_{вх} W_{вх} +$$

$$+ (\overline{Э}_{ор} + \overline{Э}_{др} + Э_{mn}) F_t + Ф [1 - \Delta(t)] \sum_{t=1}^{F_t} U_j I_j f_j(t) \to \min, \quad (64)$$

где $W_д$ — дополнительная водоподача; $Ц_{вд}$ — цена дополнительной водоподачи за 1 м³; $Ц_{кд}$ — то же, коллекторных вод; $\overline{Э}_{ор}$; $\overline{Э}_{др}$; $\overline{Э}_{mn}$; $\overline{Э}_{вх}$ — удельные приведенные затраты соответственно на гектар оросительной сети, коллекторно-дренажной сети, техники полива и на 1 м³ водохранилища.

Предложенная функция позволяет после установления субоптимума по оросительной и коллекторно-дренажной сети, технике полива, оценки продуктивности земель, характерных для данных условий, и оценки водного фактора установить оптимальную работоспособность системы и мероприятия, обеспечивающие ее, либо сознательно снизить работоспособность в интересах оптимума эффективности и экономии воды.

Глава V. УПРАВЛЕНИЕ ВОДОХОЗЯЙСТВЕННЫМ КОМПЛЕКСОМ

НЕДОСТАТКИ СУЩЕСТВУЮЩЕЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

Управление бассейнами в настоящее время осуществляется, за редким исключением, децентрализованно.

Водными ресурсами бассейнов управляют различные ведомства и министерства. Правда, в целом ряде законодательных документов подчеркивается, что в период дефицита управление всеми гидросооружениями осуществляется, вне зависимости от их подчиненности, по режиму, установленному Минводхозом СССР, но на деле использовать это положение довольно трудно.

Например, в бассейне реки Сырдарьи, находящиеся на стволе реки и притоках плотины и гидроэлектростанции подчиняются: Чарвакская ГЭС — Минэнерго Узбекской ССР; Кайраккумская ГЭС — Главтаджикэнерго; Андижанское водохранилище — Минводхозу Узбекской ССР; Токтогульская ГЭС и водохранилище — Главкиргизэнерго; Чардаринская ГЭС и водохранилище — Минводхозу Казахской ССР.

Кроме того, на реке имеется 72 сооружения и водозабора на расход более 10 м³/с, находящихся в ведении четырех республиканских минводхозов и двух главных управлений союзного подчинения. В условиях лет средней водности и особенно маловодных очень заметны трудности управления при таком большом числе самостоятельно управляющих воздействий на главный водный источник — ствол реки, так как в эти годы острее проявляются противоречия между водопользователями и водопотребителями.

Попытки централизованного управления бассейнами рек в зоне орошения имеются лишь на двух реках страны: Зеравшан и Днепр.

Учитывая, что большая часть бассейна реки Зеравшан находится в пределах Узбекской ССР, еще в 1926 г. было организовано Управление водного хозяйства Зеравшанской долины — Зердолводхоз. В функции его входили водораспределение и водопользование по всей долине реки, выполнение регулировочных и паводковых

работ, ремонт и поддержание в рабочем состоянии водовыделов из реки. Управление создало русловую гидрометслужбу, службу по обеспечению водозаборов (русловую службу), под его руководством был осуществлен контроль за водоподачей методом суммарного стока (с начала расчетного периода). С целью улучшения условий водозаборов на реке были сооружены Первомайская плотина, Карманинский и Хархурский гидроузлы, Катта Курганское наливное водохранилище. В сложных условиях изменчивости стока по реке Зердолводхоз успешно справлялся с вододелением до 1940 г.

С 1973 г. Минводхозом Узбекской ССР совместно с Институтом управляющих электронных машин (ИНЭУМ) при участии САНИИРИ внедрена первая очередь автоматизированной системы управления бассейном (АСУБ) реки Зеравшан. АСУБ включает прогнозирование стока реки и его оперативное вододеление между главными водозаборами с учетом наполнения Каттакурганского водохранилища. Однако отсутствие связи с русловой гидрометрией, неизученность и недоучет особенностей формирования возвратных вод в бассейне наряду с недостаточным развитием средств учета и управления на нижней ступени иерархии снизили эффективность АСУБ.

На территории УССР в 1972 г. Главное управление водных ресурсов Минводхоза республики осуществляет руководство использованием вод реки Днепра, которое ежегодно в феврале, исходя из прогноза водности года и заявок водопотребителей, составляет годовые планы водопотребления. Возможность удовлетворения нужд народного хозяйства в воде в течение года и установление режима сработки и наполнения водохранилищ определяются путем постоянного составления и корректировки оперативных водохозяйственных балансов.

Главным согласующим органом управления режимом реки является Межведомственная комиссия при Минводхозе республики, в которую входят все заинтересованные организации, министерства и ведомства. Периодичность работы комиссии — 3...6 раз в год.

С 1979 г. начато внедрение АСУ «Днепр». По оценке специалистов Минводхоза УССР, отсутствие единого оперативного контроля за потреблением воды, ведомственная разобщенность, неинформативность органов управления в вопросах определения качества воды и источников их загрязнения осложняют управление бассей-

ном и создают трудности в водообеспеченности некоторых зон.

Децентрализованную или частично централизованную систему управления бассейнами рек в зоне орошения характеризуют следующие основные недостатки:

наличие различных несогласованных и несоподчиненных управляющих воздействий на водные ресурсы;

отсутствие единых подходов к оптимальным критериям управления ВХК, обеспечивающим максимальный народнохозяйственный эффект от его функционирования либо минимальный ущерб в случае дефицита водных ресурсов;

отсутствие точного и возможность искажения учета формирования водных ресурсов во всех их разновидностях и использования (отборов и возврата) воды потребителями и пользователями;

отсутствие постоянного контроля за качеством воды, источниками загрязнения;

возможность появления необъективных заявок на воду, особенно в интересах орошаемого земледелия, недоучета в оперативном водопотреблении, изменения метеорологических и природно-хозяйственных факторов, а также достаточный контроль использования воды во всех уровнях ВХК;

недостаточная обоснованность прогнозов водных ресурсов и их несоответствие потребностям управляющих органов ВХК.

ЦЕНТРАЛИЗОВАННОЕ УПРАВЛЕНИЕ ВХК И ЕГО СТРУКТУРА

Устранить перечисленные выше недостатки можно, если создать единый централизованный орган для рационального использования водных ресурсов в бассейне — службу управления бассейном (СУБ), а при введении автоматизации — автоматизированную службу управления бассейном (АСУБ).

СУБ выполняет главные функции ВХК, формирование водных ресурсов, охрану вод и окружающей среды, вододеление и водоподачу, контроль за мелиоративным состоянием земель. Если все сооружения, входящие в ВХК, рассматривать в зависимости от их функций (рис. 45), то окажется, что хотя и бóльшая часть их

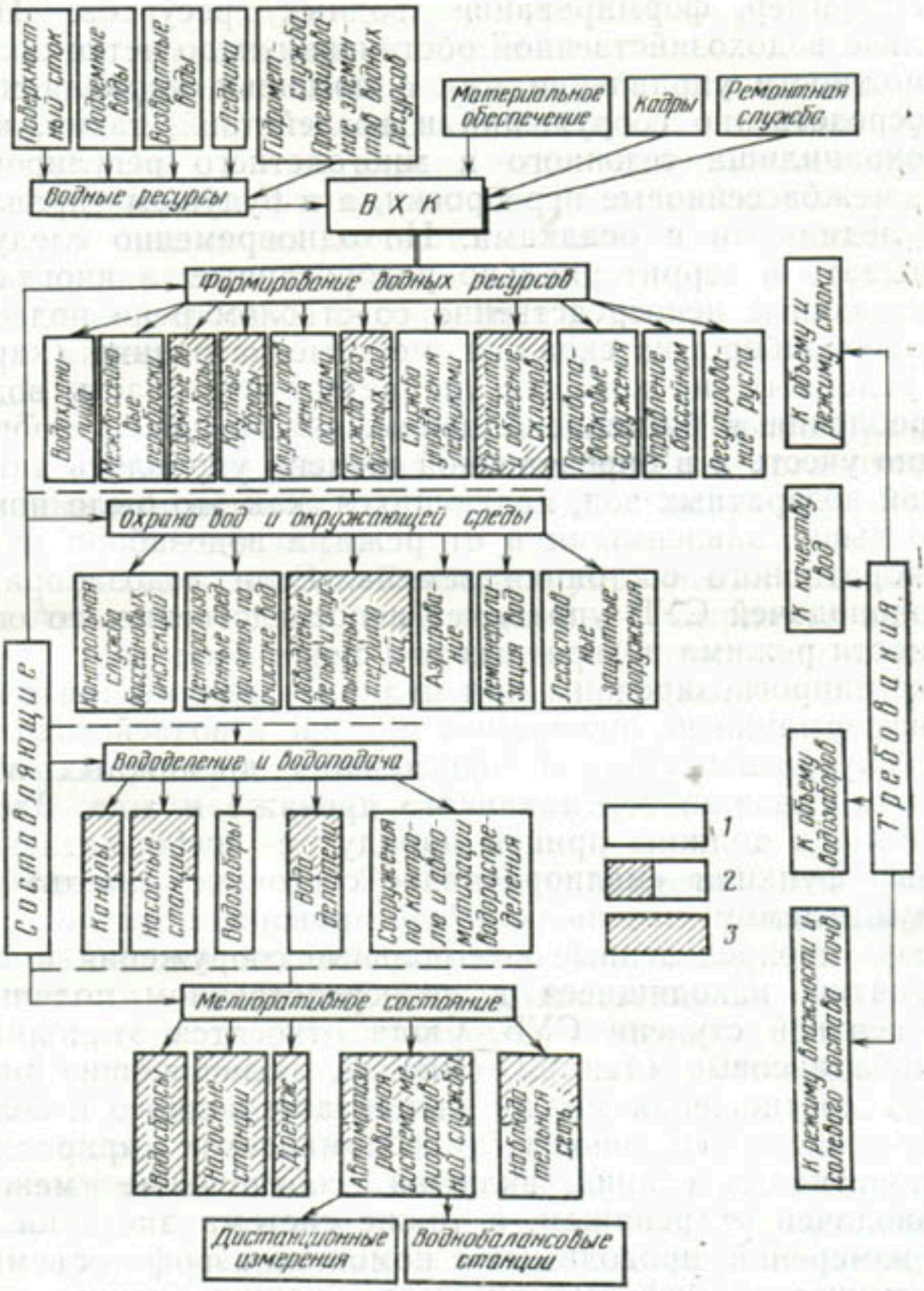


Рис. 45. Схема сооружений ВХК:

1 — управляемые; *2* — частично управляемые; *3* — неуправляемые.

входит непосредственно в состав управляемых, значительная доля является информационно- и планируемоувязанной и контролируемой (непосредственно и косвенно).

Например, формирование водных ресурсов. При анализе водохозяйственной обстановки надо четко знать возможности управления ими с помощью управляемых непосредственно сооружений и воздействий, таких, как водохранилища сезонного и многолетнего регулирования, межбассейновые переброски, а в будущем управление ледниками и осадками. Но одновременно следует учитывать и территориально разбросанные, а иногда и не связанные непосредственно со стволом реки подземные водозаборы из скважин, местные источники (карасу, водоемы), из которых удовлетворяется часть водопотребления в бассейне в целом. С другой стороны, важно учесть и в определенной степени управлять динамикой возвратных вод, являющихся, как это было показано выше, зависимыми и от режима водозабора, и от мелиоративного состояния земель. Если водозаборами и водоподачей СУБ управляет непосредственно, то особенности режима возвратных вод могут быть достаточно точно запрогнозированы при наличии информации о их трансформации на орошаемом массиве и воздействии на них внутрисистемного использования дренажных вод, режима скважин вертикального дренажа и т. д. Здесь на помощь должны прийти наряду с информативной связью функции «мелиоративное состояние земель» на обслуживаемом массиве с «формированием водных ресурсов» и определенные контрольные сооружения и мероприятия, находящиеся в непосредственном подчинении верхней ступени СУБ. Сюда относятся эталонные воднобалансовые станции (ЭВБС), позволяющие оценивать соотношения между элементами водного и солевого баланса для типовых таксономических природно-мелиоративных единиц, включая соотношение между водоподачей и дренажем, а также система дистанционных измерений, проводимых с помощью аэрофотосъемки и космической информации, позволяющих оценить степень засоления почвогрунтов и определить необходимость промывных поливов, установить глубину грунтовых вод, размеры площадей, занятых различными культурами, и их состояние и получить другую информацию.

Эта же служба, непосредственно входящая в состав СУБ, позволяет контролировать поданные заявки на водоподачу от нижних ступеней ВХК (республик, областей, массивов) и осуществить их корректировку, сопоставляя представленную информацию с данными ЭВБС и дистанционных измерений.

В перспективе такая же активная непосредственная управляющая деятельность бесспорно должна осуществляться СУБ по охране вод и окружающей среды, по созданию централизованных предприятий по очистке вод, улучшению их качества с помощью аэрирования, деминерализации и т. д., а также созданию автоматизированной системы информации и контроля за изменением качества воды в реках, сбросных коллекторах и т. д.

Для выполнения основных, указанных выше функций оперативного управления целесообразно организовать главные управления ВХК бассейна, например, бассейн ВХК Аральского моря.

Создание единого Главного управления бассейном рек Аральского моря, а не отдельно — Сырдарьи и Амударьи — целесообразно исходя из наличия зон с взаимосвязанным водным питанием (Зеравшанский оазис) уже в настоящее время. Эти зоны получат особенно большое распространение при осуществлении проекта переброски части стока сибирских рек в Среднюю Азию и Казахстан.

Основные задачи Главного управления ВХК: обеспечение оптимального распределения и рационального использования водных ресурсов автоматизированными системами управления водохозяйственными комплексами рек в интересах народного хозяйства; составление отраслевой схемы развития АСУ ВХК; установление и осуществление перспективного и текущего режима работы комплекса сооружений, входящих в ВХК, исходя из использования всех водных ресурсов в бассейне (поверхностных, подземных и возвратных) с максимальным эффектом для народного хозяйства и с последующим переходом к централизованному воспроизводству водных ресурсов в пределах бассейна; осуществление контроля мелиоративного состояния земель и прогнозирования водопотребления на региональном уровне с помощью сети воднобалансовых станций и систем дистанционных наблюдений, на основе которых будут раз-

рабатываться укрупненные рекомендации по региональ-но-мелиоративным мероприятиям и суммарным водоза-борам; строительство вновь создаваемых АСУ ВХК и их эксплуатация; контроль за качеством водных ресур-сов (подземных, поверхностных и возвратных), разра-ботка и реализация мероприятий по улучшению каче-ства воды, осуществление мероприятий по строительст-ву в перспективе централизованных межреспубликан-ских и межотраслевых водоохранных комплексов, включая создание предприятий по очистке вод и их де-минерализации, внедрению бессточных систем водополь-зования, централизованных очистных сооружений и т. д.; решение вопросов межреспубликанского и меж-отраслевого водораспределения с учетом интересов всех водопользователей и принципа равных ущербов при дефиците воды; планирование забора и подачи во-ды на основе планов водопользования, представленных республиканскими органами с учетом установленных лимитов; определение режима работы и оперативное руководство наполнением и использованием водных ре-сурсов водохранилищ; осуществление технической экс-плуатации сооружений, находящихся на балансе Глав-ного управления ВХК; проектирование и выполнение капитальных и текущих ремонтов объектов ВХК.

Структура главного управления ВХК представлена низовыми управляющими звеньями — территориальны-ми управлениями, обеспеченными производственными предприятиями и функциональными отделами и управ-лениями (рис. 46). Территориальные управления (ТУ) охватывают часть бассейна, обычно ограниченную за-мыкающими створами по реке (плотинами или гидро-метрическими постами), имеющую определенное гео-морфологическое единство. Например, бассейн реки Сырдарьи разделен на шесть территориальных управле-ний: по долине реки Нарын — Учкурганское ТУ; по до-лине реки Карадарьи — Андижанское ТУ; Ферганской долине — Ленинабадское ТУ; среднему течению — Го-лодная и Дальверзинская степь — Гулистанское ТУ; Чирчик-Ангренскому району — Чакир-Чирчикское ТУ и по нижнему течению — Кзылординское ТУ. В каждом ТУ имеются пункты контроля и наблюдения, контроль-ные пункты низового управления (КПНУ), воднобалан-совые станции и в будущем предполагаются предприя-тия по централизованной охране водных ресурсов.

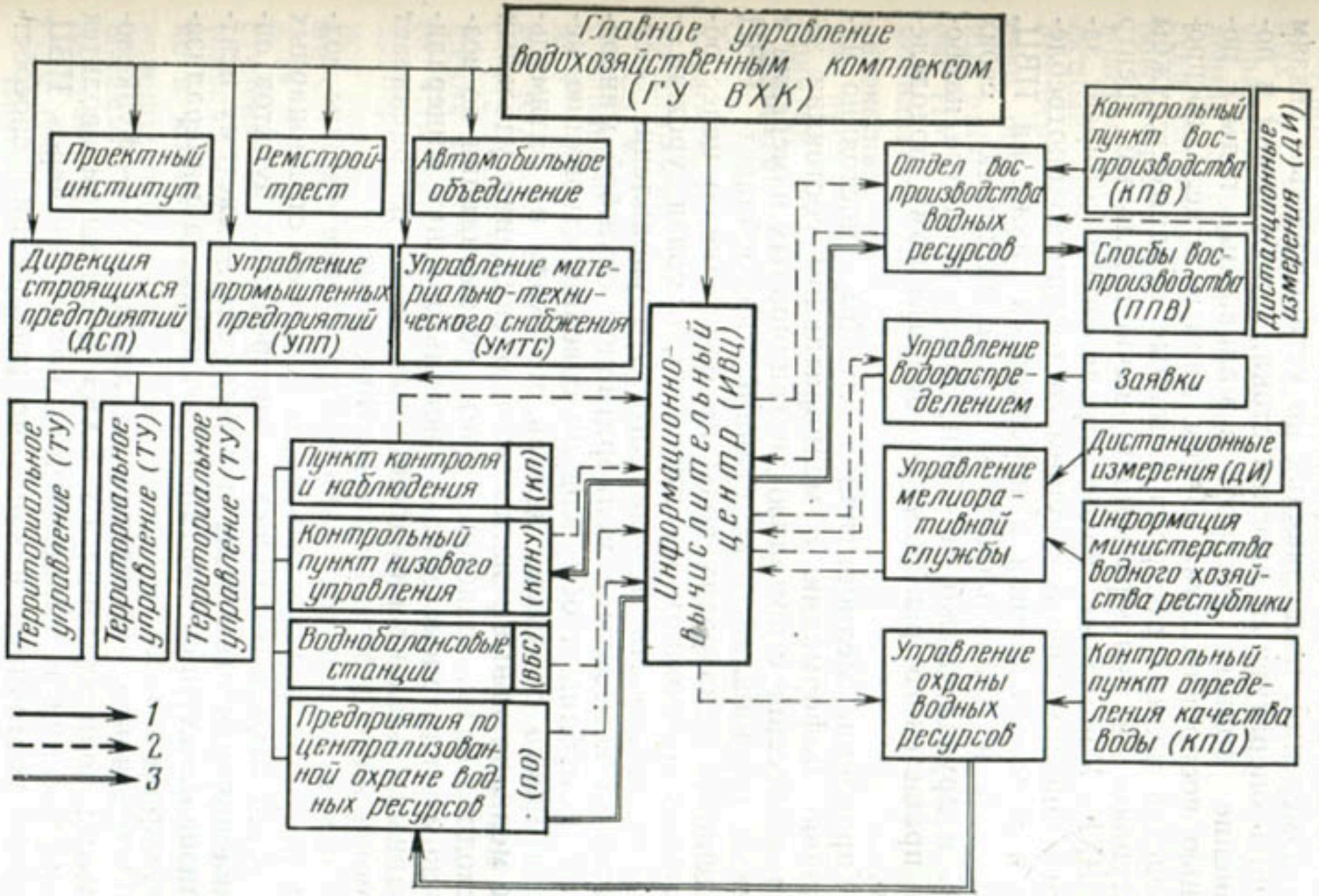


Рис. 46. Управляющие и информационные связи Главного управления ВХК:
1 — подчинение; *2* — информация; *3* — управление.

В центральном аппарате ГУ ВХК отдел воспроизводства водных ресурсов ведает сбором информации с контрольных пунктов воспроизводства, располагаемых в основном в зоне формирования стока, и дистанционных измерений, позволяющих по установленным связям оценить оперативный прогноз стока, а в будущем и пополнение водных ресурсов в маловодные годы с помощью воспроизводства. Затем данные отдела воспроизводства водных ресурсов и данные Гидрометслужбы поступают в информационно-вычислительный центр ГУ ВХК. Управление водораспределением собирает заявки и информацию о текущем состоянии водопотребления и водопользования и передает их также на ИВЦ, контролируя правильность заявок с помощью своих ВБС и других служб, и обеспечивает принятие наиболее правильного решения по оперативному вододелению.

Управление мелиоративной службы, постоянно накапливая информацию о мелиоративном состоянии земель в бассейне с помощью дистанционных измерений и данных воднобалансовых станций, обеспечивает ИВЦ сведениями о затратах воды на орошение, о целесообразном и возможном их снижении, о связи урожай — водообеспеченность. Кроме того, это управление осуществляет контакты с мелиоративной службой минводхозов республик и облуосов по совершенствованию мелиоративного состояния земель, переходу на оптимальные мелиоративные режимы с целью снижения удельных расходов воды, наконец, дает рекомендации по возможному внутрисистемному использованию минерализованных коллекторно-дренажных вод и оценивает влияние этого отбора на возвратные воды.

Создаваемое в перспективе Управление охраны водных ресурсов будет иметь свою систему стационарных и мобильных автоматических контрольных пунктов определения качества воды и в будущем — систему централизованных предприятий по очистке, деминерализации, охране и т. д.

Оперативное управление по линии «ТУ — функциональные подразделения ГУ ВХК» в основном сводится к информации и управляющим командам через ИВЦ. Причем постоянное накопление информации способствует самосовершенствованию системы управления.

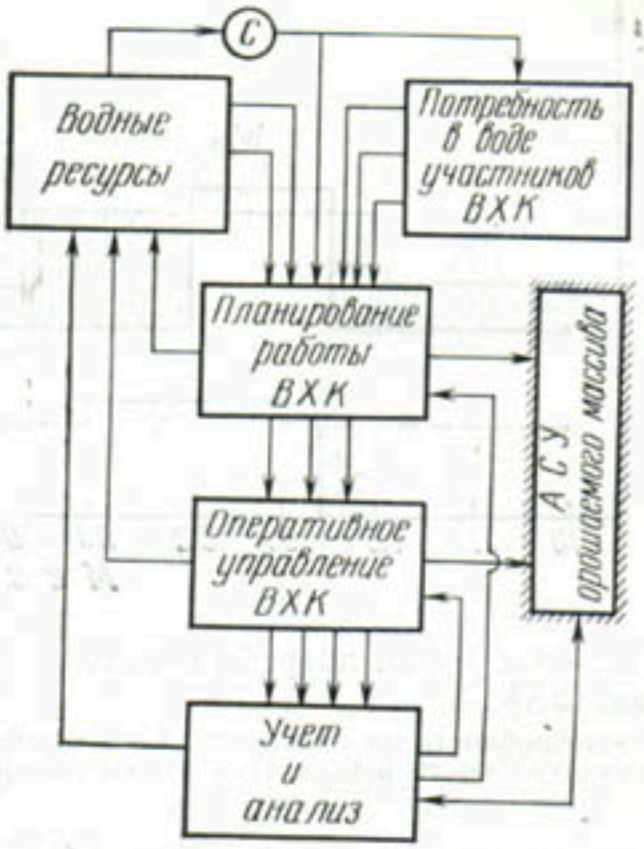


Рис. 47. Схема связи подсистем в составе АСУ бассейна.

Кроме непосредственных и информационно-управляющих подразделений ГУ ВХК, в его состав входит ряд крупных обеспечивающих производственных единиц: проектный институт, Ремстройтрест для производства ремонтно-строительных работ с подчиненным ему ПМК по зонам, автомобильное объединение с автоколоннами, управление промышленных предприятий со специализированными заводами по ремонту гидромеханического, силового и другого оборудования, управление материально-технического снабжения и дирекция строящихся предприятий, выполняющая функции заказчика.

Служба управления бассейнами — верхняя ступень управления ВХК, увязанная с ее нижними ступенями — АСУ оросительного комплекса. Например, АСУ системы Южного голодностепского канала, разработанного Средазгипроводхлопком и САНИИРИ для массива орошения Новой зоны Голодной степи площадью 350 тыс. га. Стыкуются эти системы управления по объему водопотребления, уточняемого и корректируемого на нижнем уровне АСУ ВХК (например, АСУ ЮГК), и по лимиту водозабора, определенного на основе располагаемых водных ресурсов, устанавливаемых на верхней ступени. В то же время стыковка осуществляется не только информационно-управляющими воздействиями, но и количественно — от АСУ ВХК и АСУ массива — водоподачей и обратно — водосбросом и возвратными водами. Общую логическую схему управления АСУ бассейна целесообразно представить в виде ряда подсистем (рис. 47).

Подсистема «Водные ресурсы» на основе постоянно собираемой и анализируемой информации по всем видам вод, имеющихся в бассейне, позволяет точно оце-

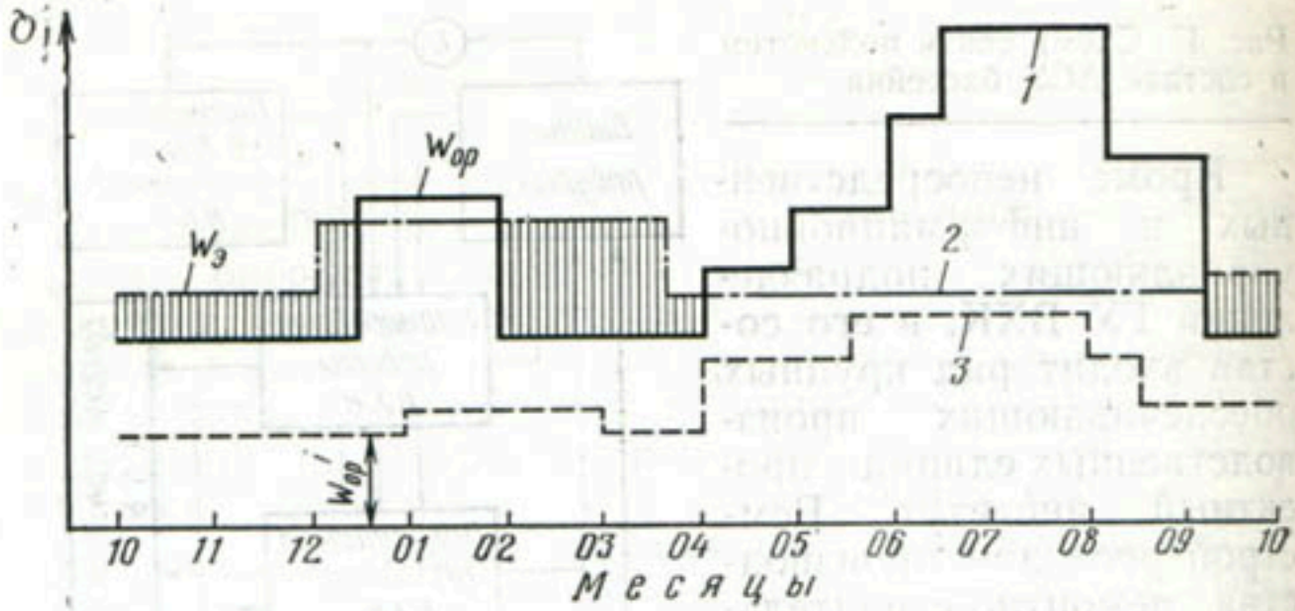


Рис. 48. График потребления воды различными потребителями в составе ВХК:

1 — потребность на орошение; *2* — потребность энергетики в попусках; *3* — прочие потребности в воде (судохозяйство, рыба).

нивать располагаемые водные ресурсы на данном этапе и на перспективу как по количеству, так и по качеству. Охрана воды по качеству в разных створах ствола и частях бассейна создает дифференциацию требований в воде на единицу площади как по оросительному, так и по промывному водопотреблению. Качество воды также определяет необходимость специальных пропусков водохранилищ для доведения воды до ПДК. Наконец, само планирование и управление ВХК создают изменение в водных ресурсах, в его антропогенной части (имеются в виду возвратные воды).

На основе зависимостей, приведенных в главе III, было установлено, что, изменяя наполнение воды в водохранилищах и подачу, можно увеличивать (или уменьшать) возврат и, следовательно, располагаемые водные ресурсы.

Таким образом, в задачи подсистемы «Водные ресурсы» входит прогнозирование стока реки по количеству и качеству в исходных (антропогенно ненарушенных) створах, оценка закономерностей формирования возвратных вод и возможности их использования в стволе и внутри системы, оценка возможного использования подземных вод и прогноз местных водных источников (притоков, не доходящих до ствола, Карасу, озер и т. д.).

Подсистема «Потребность в воде участников ВХК»

наряду с получением информации по заявкам участников ВХК на воду должна обеспечивать возможность их проверки по составляющим элементам и корректировки в зависимости от местных условий, возможности использования местных водных ресурсов, а также в зависимости от качества воды.

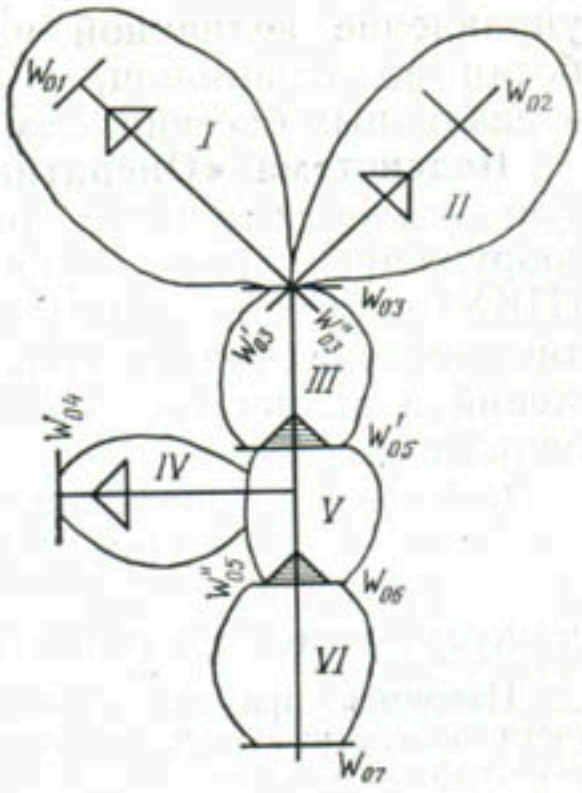


Рис. 49. Схема бассейна р. Сырдарьи.

При этом в составе ВХК целесообразно предусматривать ввод данных дистанционных измерений по площади орошения, составу культур, степени засоления для уточнения объемных показателей водопотребления и данных эталонных воднобалансовых станций, входящих в состав АСУБ или в АСУ массива и передающих свою информацию на верхний уровень управления бассейном.

Суммарное водопотребление по реке рассматривается с учетом режима водопотребления на орошение, промышленного комбината, санитарных попусков и прочих потребителей с учетом совпадения их требований на воду. Если при этом потребность энергетики в попусках через турбины для выработки электроэнергии не обеспечивается суммарной потребностью в воде, вводится потребность энергетики $W_э$ (рис. 48).

Подсистема «Планирование работы ВХК» должна одновременно иметь информацию о характеристиках мелиоративного режима орошаемых земель и об ущербах водопотребителей и водопользователей в связи с недоподачей воды против потребностей.

На основе сопоставления информации, получаемой в подсистемах «Водные ресурсы» и «Потребности в воде», осуществляются главные управляющие функции подсистемы «Планирование работы ВХК» на двух уровнях планирования — годового и оперативного. Здесь на основе принципов и критериев оптимизации устанавливается наилучшее с точки зрения народного хозяйства

управление величиной и режимом наполнения и сработки водохранилищ, а также величиной водозаборов в различных бассейновых зонах.

Подсистема «Оперативное управление ВХК» реализует эти оптимальные графики работы водозаборов и сооружений через пункты контроля и управления (ПКУ) с учетом динамики добегания воды по стволу, динамических характеристик работы отдельных сооружений и их частей, особенностей режима русловых явлений и т. д.

В целом управление бассейном основывается на постоянном учете, прогнозе и управлении всеми составляющими водохозяйственного баланса участков реки, стыкуемых между собой в пограничных створах.

Например, при использовании зависимостей для раздельного учета возвратных вод, водохозяйственный баланс реки Сырдарьи, разбитый на участки, можно представить как набор воднобалансовых уравнений отдельных зон (зоны двух типов — транзитные и концевые) — трех транзитных и трех концевых (рис. 49):

$$W_{o_1}\left(1 \pm \frac{П_1}{W_{o_1}}\right)(t) + W_{м_1} + W_{п_1} - W_{ор_1}\left(1 - \frac{Д_1 + C_1}{W_{o_1}}\right)(t) - W_{п_1}(t) - W_{пр_1}(1 - \lambda_{пр}) \pm \Delta W_{вх_1} = W'_{o_3}(t);$$

$$W_{o_2}\left(1 \pm \frac{П}{W_{o_2}}\right)(t) + W_{м_2} + W_{п_2} - W_{ор_2}\left(1 - \frac{Д_2 + C_2}{O_{р_2}}\right)(t) - W_{пр_2}(1 - \lambda_{пр}) \pm \Delta W_{вх_2} = W''_{o_3}(t);$$

$$(W'_{o_3} - W''_{o_3})\left(1 \pm \frac{П_3}{W_{o_3}}\right)(t) + W_{м_3} + W_{п_3} - W_{ор_3}\left(1 - \frac{Д_3 + C_3}{O_{р_3}}\right)(t) - \Delta W_3(t) - W_{пр_3}(1 - \lambda) \pm \Delta W_{вх_3}(t) = W'_{o_5}(t);$$

$$W_{o_4}\left(1 \pm \frac{П_4}{W_{o_4}}\right)(t) + W_{м_4} + W_{п_4} - W_{ор_4}\left(1 - \frac{Д_4 + C_4}{O_{р4}}\right)(t) - \Delta W_4(t) - W_{пр_4}(1 - \lambda) \pm \Delta W_{вх_4}(t) = W''_{o_5}(t);$$

$$(W'_{o_5} + W''_{o_5})\left(1 \pm \frac{П_5}{W_{o_5}}\right)(t) + W_{м_5} + W_{пр_5} - W_{ор_5}\left(1 - \frac{Д_5 + C_5}{O_{р_5}}\right)(t) - \Delta W_5(t) - W_{пр_5}(1 - \lambda) \pm \Delta W_{вх_5}(t) = W_{o_6}(t);$$

$$W_{o_6}\left(1 \pm \frac{П_6}{W_{o_6}}\right)(t) + W_{м_6} + W_{п_6} - W_{ор_6}\left(1 - \frac{Д_6 + C_6}{W_{р_6}}\right)(t) - \Delta W_6(t) - W_{пр_6}(1 - \lambda) = W_{o_7}.$$

В общем виде за любой промежуток времени от t до T

$$\sum_{i=1}^{n}\left\{\int_{t}^{T}\left[W_{o_i}(t)\left(1\pm\frac{П_i}{W_{o_i}}\right)+W_{м_i}(t)+W_{п_i}(t)-W_{ор_i}\left(1-\frac{Д_i+O_i}{O_{р_i}}\right)-\right.\right.$$

$$\left.\left.-W_{э_i}(t)-W_{пр_i}(t)(1-\lambda_{пр})\right]dt\pm\Delta W_{вх}\right\}, \qquad (65)$$

где W_{o_i} — объем стока поверхностных вод на i-ом участке бассейна ($0\leqslant i\leqslant n=7$) за период t; $W_{м_i}$ — объем местных вод на i-ом участке бассейна за период t; $W_{п_i}$ — объем подземных располагаемых водных ресурсов на i-ом участке за период t; $W_{ор_i}$ — объем водозабора на орошение на i-ом участке за время t; ΔW_i — потери стока на i-ом участке за время t; $П_i$ — подземный сток на 1 га на i-ом участке; $(D+C)_i$ — дренажно-сбросной сток на i-ом участке за время t на 1 га орошаемых земель; $O_{р_i}$ — тоже оросительная норма брутто на i-ом участке; $W_{пр_i}$ — водозабор прочими потребителями на i-ом участке со степенью возврата λ; $\Delta W_{вх_i}$ — изменение запаса воды в водохранилище на i-ом участке.

Первые три члена этого выражения могут быть представлены как функции среднемноголетнего стока реки и вероятностного характера ее обеспеченности в текущем году (с учетом рекомендуемых зависимостей подрусловой приточности, связи между стоком основного ствола реки и местными источниками).

Объем запаса воды в водохранилищах $\Delta W_{вх}$ при сезонном регулировании определяют разностью между наличным (или проектным) объемом водохранилищ и мертвым.

Для многолетних водохранилищ необходимо строить многолетний динамический ряд интегрального стока, задающий определенное задание на $\pm\Delta W_{вх}$ — наполнение водохранилища или сработка на определенную величину.

С учетом обязательного удовлетворения промышленного и коммунального водопотребления, принимая во внимание долю стока подземного использования и его потери (если они имеют место), получаем суммарное водопотребление, которое нужно распределить между орошением и энергетикой.

ВОДНЫЕ РЕСУРСЫ И ИХ ПРОГНОЗИРОВАНИЕ

При планировании работы водохозяйственных комплексов, включая определение ожидаемой водности предстоящего периода или наступающего года и распределение стока по месяцам, нахождение оптимального режима работы каскада водохранилищ в увязке с другими сооружениями бассейна, необходимо достоверно определить величину естественных водных ресурсов, включая осадки, поверхностные и подземные воды.

Известно, что речному стоку свойственны колебания. Одни колебания, называемые детерминированными —

определенными, носят устойчивый характер (закономерность сочетания паводка и межени по времени и относительной величине, наличие многолетних маловодных и многоводных лет, циклов), другие — случайный, вероятностный, или, как теперь принято говорить, стохастический.

По мере детализации и углубления знаний, увеличения объема наблюдений бесспорно все больше будут исследоваться детерминированные закономерности и меньше — вероятностные с учетом выявления глобальных цикличных закономерностей и наложения на них более мелких циклов и закономерностей, изменения генетических источников водных ресурсов (гидрогеологических, климатических, метеорологических, гляциологических и др.).

В оперативное планирование непосредственной работы ВХК широко включают сейчас методы по изучению вероятностных закономерностей.

Исходя из работ различных авторов моделирование рядов годового стока проводим без учета их местного распределения как последовательности независимых случайных величин или по искусственным гидрологическим рядам большой длительности, полученным методами Монте-Карло, или за основу принимаем ту или иную интерпретацию стока с помощью цепей Маркова.

Как отмечает Д. Я. Раткович, установление положительной корреляции между стоком смежных лет является общепризнанным явлением, однако степень корреляции и даже направленность ($\pm$) между близко расположенными значениями имеют большую неопределенность.

Попытки связать вместе отдельные факторы — осадки, подземный сток и так далее по 289 рекам, в том числе 120 рядов годового стока рек, расчлененного на поверхностную и подземную составляющую, 200 рядов годового слоя осадков и 50 рядов факторов испарения, показали коэффициент корреляции 0,3 — по генеральной совокупности между смежными членами; около 0 — по поверхностному стоку; 0,33 — по подземному стоку; 0,09 — по осадкам.

Для установления достоверности длины ряда располагаемых наблюдений Д. Я. Раткович получил ряд соотношений. Повторяемость маловодных серий из m членов обеспеченности более P при общем числе чле-

нов n равна

$$\tau = \left(P + \frac{1}{n}\right) \frac{C^{\text{пр}-1}_{n-m-1}}{C_n^{\text{пр}}} =$$

$$= P\left(P + \frac{1}{n}\right) \prod_{K=1}^{m} \left(1 - \frac{\Pi_p - 1}{\Pi - K}\right), \qquad (66)$$

математическое ожидаемое количество серий

$$m = \frac{1}{P + \frac{1}{n}},$$

$$C_{V_m} = \sqrt{\frac{1 - P - \frac{1}{n}}{1 + \frac{2}{nP}}}.$$

Полученные им зависимости и построенный на их основе график вероятности серий в зависимости от длины ряда наблюдений показывают, что чем меньше максимальная длина группировок, тем приближение к истинной медиане достигается при меньшем числе лет.

В частности, по данным обработки рядов С. А. Полинова, наиболее вероятная продолжительность маловодных лет составляет для рек: Сырдарьи 2...3 года ($\tau = 25{,}3\%$; $P = 46{,}4\%$; $n = 70$); Амударьи — 2 года ($\tau = 19{,}6\%$; $P = 41{,}2\%$; $n = 50$). Для этих показателей 60-летний ряд обеспечивает достаточную точность гидрологического ряда.

Рассмотрение материалов наблюдений генеральной совокупности 371 ряда позволило Д. Я. Ратковичу сделать выводы о наличии определенных закономерностей в цикличности стока: серии из одного года и последние годы в более длинных сериях отличаются небольшой маловодностью и многоводностью; промежуточные годы длинных серий в среднем подчиняются обратной закономерности — маловодные ниже среднемаловодных, многоводные выше среднемноговодных; распределения по длительности маловодных и многоводных серий в основном симметричны.

Для Средней Азии эти закономерности в общем соблюдены, периодичность маловодных лет больше многоводных.

По реке Сырдарье намечается 62—63-летний цикл по интегральной кривой отклонений от нормы стока, из которых длительность маловодной ветви в два раза (40 лет) больше многоводной. Если маловодные годы образуют группы по 2...3 года, реже 4...6 лет, то многоводные годы одиночны, реже встречаются группами в 2...3 года. Продолжительность маловодных группировок составляет 50,6%, многоводных — 21,1%, средневодных — 28,2%. У реки Амударьи по сравнению с рекой Сырдарьей периоды затяжного маловодья значительно короче (нет группировок по 5 лет и более) и больше многоводных группировок.

Важное свойство процессов стока — подчинение их закономерностей цепям А. А. Маркова:

для любого $m>n+1$

$$F_m(t_1;\ x_1;\ \ldots\ ;\ t_m;\ x_m)=F_{n+1}(t_1;\ x_1;\ \ldots\ ;\ t_{n+1};\ x_{n+1})\times$$

$$\times\prod_{k=n+2}^{m}\frac{F_{n+1}(t_{k-n};\ x_{k-n};\ \ldots;\ t_k;\ x_k)}{F_n(t_{k-n};\ x_{k-n};\ \ldots;\ t_{k-1};\ x_{k-1})};$$

для простого $n=1$

$$F=(t_2;\ x_2/t_1;\ x_1)=\int_{-\infty}^{+\infty}F(t_2;\ x_2/t_*;x_*)P(t_*;\ x_*/t_1;\ x_1)dx_*, \quad (67)$$

где F_m — функция распределения стока в год m с временным сочетанием параметров x_m, соответствующим времени t_m на основе вероятностной оценки фактического распределения предшествующего периода $n+1$ к показателям времени n за время от $k-n$ до k; P — обеспеченность стока; x_*/t_* — средние показатели распределения x и t.

Имеется пять гипотез о распределении вероятностей годовых объемов стока, по Д. Я. Ратковичу, из которых он рекомендует метод двухмерных симметричных распределений с обеспеченностями распределения по гамма-функциям как наиболее отвечающей натуре. Результаты сравнения расчетных показателей повторяемости маловодных и многоводных лет с фактическими по рекам Амударье и Сырдарье (модуль стока 4...10 л/км^2) сведены в таблице 42.

Для рек аридной зоны этот метод дает также значительные отклонения. Более удачной представляется рекомендуемая Сванидзе гипотеза фрагментов. Сущность этого метода состоит в предоставлении структуры

42. Сопоставление расчетных и фактических повторностей маловодных и многоводных лет по рекам Амударье и Сырдарье, % общей продолжительности расчетного периода

Число лет в серии	Река Амударья (C=0,15)				Река Сырдарья (C=0,2)			
	маловодные		многоводные		маловодные		многоводные	
	расчетные	фактические	расчетные	фактические	расчетные	фактические	расчетные	фактические
1	7,16	11,80	7,71	9,80	7,06	4,20	7,80	9,85
2	4,49	19,60	4,61	11,80	4,46	16,90	4,62	2,82
3	2,82	5,90	2,76	5,90	2,82	8,45	2,74	8,45
4	1,76	15,70	1,67	—	1,78	5,65	—	—
5	1,70	—	1,18	9,80	7,13	7,05	0,93	—
6	0,69	—	0,36	—	0,71	8,40	0,57	—

рядов расходов Q_1, Q_2, ..., Q_m, где $m>N$ в виде членен-ных фрагментов. Для этого ординаты этих гидрографов представляют в виде деления расходов Q_1, Q_2, ..., Q_m на среднегодовые расходы, получив новые величины фрагментов ξ_κ. Водоносность года можно оценить с помощью коэффициента внутригодовой неравномерности $d=1(\omega/\Omega)$, где Ω — площадь гидрографа; ω — часть этой площади, отсекаемая ординатой среднемноголетнего стока. Строят функцию $d=\overline{f}(P)=f(1-F)$. По этому графику для каждой группы обеспеченностей определяют коэффициент для фрагментов, соответствующий тому интервалу вероятностей, в который попадает значение Q_m.

Другие авторы пытаются связать водность рек с проявлениями солнечной активности и элементами теплового и водного балансов и делают вывод о возможности в ближайшем будущем прогнозировать гидравлические характеристики стока с помощью связи вероятностных рядов с определенными характеристиками географического положения, временных колебаний и текущих климатических показателей, а также закономерностей в повторяемости серий лет повышенной и пониженной водности (Н. И. Дружинин).

Учитывая малую общую сходимость этих методов, автор предлагает увязывать закономерности колебания речного стока с колебаниями различных генетических элементов (осадки, подземный сток и т. д.) не в суммарном его выражении, а расчлененными на составляющие элементы по методике М. И. Львовича (1974).

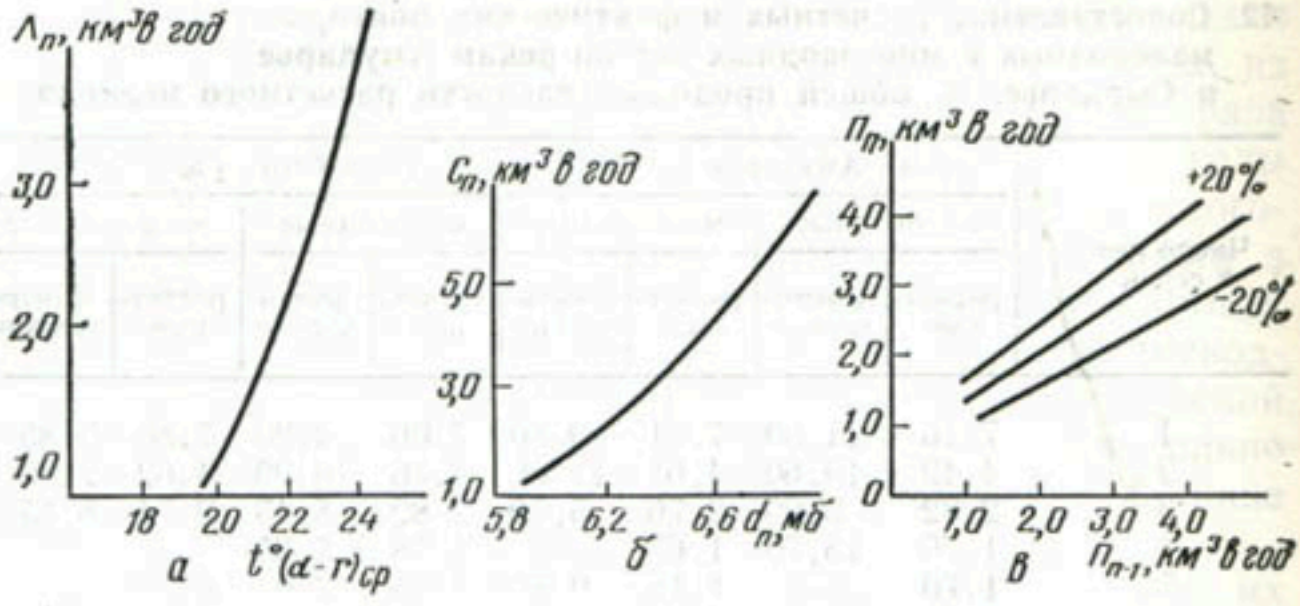


Рис. 50. Дифференциальные зависимости генетических составляющих стока:

а — ледникового стока от средней температуры воздуха за июль — август; *б* — снегового стока от абсолютной влажности воздуха; *в* — подземного стока реки Чирчик от стока предшествующего года.

Расчленив сток реки Чирчик у гидропоста Ходжент на подземный сток, ледниковую, снеговую и поверхностную составляющие (Н. И. Прохоренко, А. В. Ем), установлены следующие закономерности (рис. 50): подземный сток ($\pm П_t$) имеет незначительную изменчивость и в пределах погрешности 20% может быть охарактеризован зависимостью от $П_t+1$ — подземного стока предшествующего года (рис. 50, *в*); ледовая составляющая ($Л_t$) в определенной степени характеризуется взаимосвязью с суммой температур на леднике в период июль — август; снеговая составляющая (C_t) зависит от количества выпавших осадков в июле — августе; поверхностная составляющая (W_t) имеет менее выраженную связь с общей увлажненностью территории — дефицитом влажности воздуха.

Если учесть, что каждая из составляющих стока реки Чирчик, например, равна определенной доле от единицы, то возможно более точно прогнозировать сток рек аридной зоны.

Пользуясь указанным методом, а также прогнозом Гидрометслужбы, можно установить ожидаемую вероятность (обеспеченность P_i) стока реки на текущий год. Проверить его достоверность в определенной степени можно с помощью прогнозирования режима работы водохранилищ, использовав гидрологический год с 1.10. по 1.04 (начало вегетации сельскохозяйственных куль-

тур) — стартовый период года, когда P_i можно проверить и цепями А. А. Маркова, а в дальнейшем скорректировать по мере изменения гидрологической и климатической обстановки.

Определив P_i, можно определить не только W_0, но и подрусловую составляющую возвратного стока $П_п$ по зависимости (31).

ПЛАНИРОВАНИЕ РАБОТЫ ВХК*

Подсистема «Планирование работы ВХК» является главной, сосредоточивающей в себе оптимальное распределение водных ресурсов между отраслями во времени и территориально.

Механизм планирования водораспределения, основанный на пропорциональной урезке участников ВХК (имеются в виду дефицитные годы), не позволяет учитывать различия в экономической эффективности использования воды различными районами и, следовательно, не может служить основой при разработке АСУБ. Оптимального распределения водных ресурсов можно добиться только при дифференцированном учете ущербов в народном хозяйстве, возникающих из-за нехватки водных ресурсов в разных районах бассейна и у различных водопользователей.

Дефицит водных ресурсов за год обычно покрывается за счет сработки объемов водохранилищ многолетнего регулирования (ВМР). Однако недостаточно обоснованный выбор объема сработки ВМР часто приводит к ситуации, когда в течение ряда лет ущерб, наносимый народному хозяйству из-за пониженных уровней воды и напоров в водохранилище, в несколько раз превышает ущерб, который удалось избежать за счет сработки объемов этих водохранилищ.

Объяснение этому кроется в том, что в оросительно-энергетических комплексных каскадах внутригодовой ущерб, наносимый энергетикой из-за несогласованности расходов, требуемых орошением и энергетикой, относительно мал (то есть он в несколько раз перекрывается экономическим эффектом, получаемым от сельского хозяйства), так как минимальный расход, требуемый отраслями с более высоким приоритетом, чем орошение,

---

* Написано совместно с А. И. Тучиным, А. Ш. Халматовым.

близко к расходу, требуемому энергетикой. Кроме того, промежуток времени, в течение которого наблюдается эта несогласованность, составляет, как правило, меньше половины года. Сработка же объемов ВМР влияет на энергетику в первую очередь тем, что в течение длительного времени (а точнее, вплоть до момента нового заполнения этих водохранилищ) ГЭС вынуждены работать при пониженных напорах. В этом случае потери мощности невозможно компенсировать увеличением расходов. Для ВХК, функционирующих в напряженном режиме, то есть когда требуемый объем водопотребления близок или превышает среднемноголетний сток реки (например, ВХК бассейна рек Сырдарьи имеет $W_0 = 34{,}5$ км^3, $W_р = 38$ км^3), промежуток времени, в течение которого ГЭС будут работать во внепроектном режиме, может тянуться несколько лет. При этом ущерб, наносимый народному хозяйству энергетикой, начинает играть превалирующую роль и, следовательно, не может не учитываться при выборе рационального объема сработки ВМР.

Кроме того, нелинейный вид связи между урожаем и глубиной дефицита, а также случайный характер стока приводят к необходимости учета вероятности того, что дефицитные годы могут следовать один за другим. Выдвижение этого фактора на первый план для бассейнов многолетнего регулирования отмечалось С. Н. Крицким и М. Ф. Менкелем. Это связано с тем, что ситуация, при которой ВХК окажется в условиях глубокого дефицита, а объем ВМР будет полностью сработан, просто недопустима, так как ущерб, наносимый народному хозяйству только за этот год, может превысить суммарный (который удалось избежать путем сработки этих объемов) за целое десятилетие.

Общий ущерб за определенный период времени по всем участкам бассейна как по энергетике, так и по орошению может быть определен следующим образом:

$$У = \sum_{i=1}^{n} \int_0^T \{[W_э]_i(t) - W_{э_i}(t)\} \overline{Ц}_э(h) + \sum_{i=1}^{n} \sum_{0}^{T} Ц_j F_j У_{tj} K_м \times$$

$$\times \left\{1 - \left[1 - \frac{W_{op_i}(\eta_{oi}/F_{ij}) + [O_р](K-1)}{[E_{тр} + И]_i}\right]^{\lambda_j}\right\}, \qquad (68)$$

где h — множество участков бассейна; $Ц_{эi}(h)$ — стоимость энергии,

получаемой за 1 м³ водоподачи в зависимости от напора h; $K_м$ — коэффициент снижения урожайного от минерализации стока:

$$K_м = \frac{[(E_{тр} - U)]}{[O_р]}.$$

Таким образом, подсистема планирования распределения водных ресурсов должна быть направлена на решение двух основных задач: оптимального распределения водных ресурсов между отраслями и по территории с учетом различий в экономической эффективности использования воды разными районами и определения рационального объема сработки объемов ВМР или выбора устойчивого режима работы ВХК в многолетнем разрезе.

Проведенное здесь разделение процессов управления ВХК на две главные задачи обусловлено в основном различиями в масштабе критериев качества управления и мерой неопределенности в прогнозе стока при их решении. Это существенно упрощает этапы разработки и реализации математических моделей, на базе которых осуществляется выбор оптимальной стратегии управлением ВХК.

СОЗДАНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ

ВХК разделим на основные этапы; сначала построим математическую модель перемещения водных масс с учетом работы водохранилищ, а затем наложим ограничения на возможные траектории системы, обусловленные хозяйственными, техническими, социальными и прочими факторами, после этого перейдем к рассмотрению управляющих воздействий.

С точки зрения перемещения водных масс ВХК можно рассматривать как определенным образом связанный набор из элементов двух видов — водохранилищ и участков русла, соединяющих водохранилища.

Уравнение функционирования водохранилищ во времени исходя из закона сохранения массы можно записать в виде

$$\frac{dW_{вх}}{dt} = \sum_{k \in s} Q^{(k)}, \qquad (69)$$

где Q^k — расход, поступающий или вытекающий из водохранилища; s — некоторое множество, включающее в себя все виды притоков и оттоков из водохранилища.

На данном этапе неважно, что именно представляет собой каждое $Q^{(k)}$, достаточно лишь, что втекающий расход берется со знаком (+), а вытекающий со знаком (—).

Условия функционирования участка реки достаточно хорошо описываются уравнениями Сен-Венана (уравнения сохранения массы и импульса), но для наших целей они являются слишком подробными, поэтому их можно существенно упростить, если рассматривать участок русла в виде камеры.

Для этого уравнение неразрывности

$$\frac{\partial \omega}{\partial t} + \frac{\partial Q}{dt} = q(x),$$

где ω — площадь поперечного сечения потока; q — боковой приток на единицу длины; x — координата вдоль оси русла.

Проинтегрируем по x и, заменяя $\int_{x_1}^{x_2} q dx$ на $\sum_{k \in s} q_k$, получим

$$\frac{dW}{dt} = \sum_{k \in s} q^{(k)} - Q^{(1)} - Q^{(2)} - W_{not}, \tag{70}$$

где $q^{(k)}$ — расход k-ого бокового притока; $Q^{(1)}$ — расход в начале участка; $Q^{(2)}$ — то же, в конце.

Полагая, что течение медленно изменяющееся, то есть выполняется уравнение Шези, можно получить уравнение в виде

$$Q^{(2)} = \alpha V^{\lambda}, \tag{71}$$

где α и λ — некоторые постоянные для конкретного участка русла.

Уравнение (69) получено интегрированием по x уравнения

$$Q = -sign\left(\frac{\partial z_n}{\partial x}\right) \omega C \sqrt{R\left|\frac{\partial z_n}{\partial x}\right|},$$

где c — коэффициент Шези; R — гидравлический радиус; Z_n — отметка свободной поверхности потока,

которое, в свою очередь, получено из уравнения сохранения импульса при отбрасывании рациональных членов и принятия

$$\frac{\partial Q}{\partial t} = 0.$$

Уравнения (69), (70) и (71) описывают функционирование отдельных элементов системы*. Для того чтобы перейти к системе целиком, необходимо указать тип связи между ними. Эта связь вытекает из того, что расход, поступающий в водохранилище из подходящего сверху русла, равен $Q^{(2)}$, а расход в уходящем русле

---

* Уравнение (70) применимо для описания функционирования участка русла в том случае, если время осреднения информации при выборе управляющих решений больше времени прохождения попуска от начала участка до конца (оно равно длине участка, деленной на среднюю скорость течения); если нет, то участок русла необходимо представить в виде 2, 3, ..., N камер, пока не будет выполняться это условие.

$Q^{(1)}$ равен попуску из водохранилища. Для идентифицирования элементов ВХК необходимо воспользоваться теорией графов.

Обозначим через $G=G(\Upsilon, V)$ ориентированный граф, в котором Υ — множество узлов, а V — множество дуг. Пусть $(i)\in\Upsilon$ указывает, из какого узла выходит дуга, а $(i, j)\in V$ — в какой входит. Водохранилища интерпретируются узлами, а участки реки — дугами. Записав уравнение функционирования узла (69) с детализацией компонентов правой части, имеем

$$\frac{dW_{\text{вх}\,i}}{dt}=\sum_{k\in s_{2i}^{(1)}} q^{(k)}+\sum_{j\in s_{2i}^{(2)}}\overline{Q}_{ij}-\sum_{j\in s_{3i}^{(n)}} P_{ij}-\sum_{k\in N_i} Q_i^{(k)}-W_{nom\,i}, \quad (72)$$

где $q_i^{(k)}$ — основной или боковой агрегированный приток к i-ому узлу, включающий коллекторно-дренажные воды, незарегулированный приток реки, возвратные воды и т. п.; $\overline{Q}_{ij}$ — расход, поступающий от j-ого узла к узлу i (если выше узла i других узлов нет, то $S_{2i}=\Phi$); P_{ij} — попуск из i-ого узла в узел j; $Q_i^{(k)}$ — расход, отбираемый k-ими водопотребителями из узла; S_{1i} — множество агрегированных притоков; S_{2i} — множество узлов, подающих воду в i-ый узел; S_{3i} — множество узлов, получающих воду из i-ого узла; N_i — множество водопотребителей, прикрепленных к i-ому узлу.

Уравнение (72), как и (69), фактически является уравнением водохозяйственного баланса, записанным в дифференциальной форме. Уравнение водохозяйственного баланса дуги в соответствии с уравнением (70) будет иметь следующий вид:

$$\frac{dW_{ij}}{dt}\sum_{k\in s_{ij}^{(1)}} q_{ij}^{(k)}+Q_{ij}^{(1)}-Q_{ij}^{(2)}-\sum_{k\in s_{ij}^{(2)}} Q_{ij}^{(k)}-W_{nom_{ij}}. \quad (73)$$

$$Q_{ij}^{(2)}=\alpha_{ij}W_{ij}^{\lambda_{ij}}, \quad (74)$$

где $S_{ij}^{(1)}$ — множество притоков на дуге ij; $S_{ij}^{(2)}$ — множество водозаборов, расположенных вдоль дуги; $Q_{ij}^{(k)}$ — расход, отбираемый k-ым водозабором с дуги ij.

Уравнения связи между узлами и дугами в соответствии с физикой процессов будут следующими:

$$Q_{ij}^{(1)}=P_{ij} \quad Vi\in\Upsilon,\ ij\in V; \quad (75)$$

$$\overline{Q}_{ji}=Q_{ji}^{(2)} \quad Vi\in\Upsilon,\ ij\in V. \quad (76)$$

Совокупность уравнений (72)...(76) описывает траектории ВХК в зависимости от притока и управляющих воздействий.

Ограничения, накладываемые на переменные, могут быть обусловлены самыми разными причинами, однако в первую очередь необходимо выделить те из них, которые допускаются физической природой самого объекта. Для ВХК они будут следующими:

объем водохранилища должен быть всегда положительной величиной, верхнее значение которой определяется максимальным

объемом, то есть*

$$Q \leqslant W_{\text{вх}_i} \leqslant W_{\text{вх}_i}^{\max}. \tag{77}$$

Соответственно для объема на дуге имеем

$$O \leqslant W_{ij}. \tag{78}$$

Ограничения, обусловленные технической стороной объекта для всех ВХК, имеют вид

$$P_{ij}(V_i)^{\min} \leqslant P_{ij} \leqslant P_{ij}(V_i)^{\max}, \tag{79}$$

то есть пуск из водохранилища не может выйти из диапазона, диктуемого всеми видами водовыпускных сооружений (сюда входят и расходы через ГЭС).

Ограничения на объем сработки водохранилищ

$$W_{\text{вх}_i}^{\min} \leqslant W_{\text{вх}_i} \leqslant W_{\text{вх}_i}^{\max}. \tag{80}$$

Ограничения по водоподаче, диктуемые конструкцией водозаборных сооружений

$$Q_i^{(k)\min} \leqslant Q_i^{(k)} \leqslant Q_i^{(k)\max}; \tag{81}$$

$$Q_{ij}^{(k)\min} \leqslant Q_i^{(k)} \leqslant Q_{ij}^{(k)\max},$$

где $Q_i^{(k)\max}$, $Q_{ij}^{(k)\max}$, $Q_i^{(k)\min}$ и $Q_{ij}^{(k)\min}$ — максимально и минимально возможные расходы k-ого потребителя, относящегося к рассматриваемому узлу или дуге.

Ограничения $Q_i^{(k)\max}$, $Q_{ij}^{(k)\max}$ являются функциями как конструкции сооружения, так и уровней воды в водохранилище или на участке русла, то есть их числовые значения определяются через $W_{\text{вх}\,i}$ и W_{ij} соответственно.

Следующий тип ограничений связан с хозяйственной деятельностью ВХК. Он диктуется требованиями составляющих компонентов ВХК, то есть его участников, которыми в порядке их приоритета являются: 1 — водоснабжение (здесь же качество воды); 2 — рыбное хозяйство; 3 — водный транспорт; 4 — орошение; 5 — энергетика.

Требования водоснабжения сводятся к выполнению графика водопотребления при заданном качестве используемой воды, то есть для каждого водозаборного сооружения устанавливают нижнюю границу подаваемого расхода:

$$Q_i^{(k)\text{вс}} \leqslant Q_i^{(k)}; \quad Q_{ij}^{(k)\text{вс}} \leqslant Q_{ij}, \tag{82}$$

где $Q_{ij}^{(k)\text{вс}}$ — расход, требуемый водоснабжением от j-ого водопотребителя i-ого узла.

Требования рыбного хозяйства заключаются в соблюдении графиков рыбохозяйственных попусков и поддержании на реке опреде-

---

* Почти во всех работах по созданию математических моделей функционирования ВХК в качестве нужного предела $W_{\text{вх}\,i}$ сразу принимают мертвый объем, однако такое ограничение обусловлено технической, а не физической стороной объекта; следовательно, могут существовать ситуации, при которых мертвый объем срабатывается.

ленного минимума расхода в течение всего года. Первое требование дает

$$P_{ij}{}^{p}x \leqslant P_{ij}, \tag{83}$$

где P_{ij} — попуск для рыбного хозяйства;

$$Q_{ij}{}^{p}x \leqslant \sum_{k \in s_{ij}^{(1)}} q_{ij}{}^{(k)} + \frac{(Q_{ij}{}^{(1)} - Q_{ij}{}^{(2)})}{2} - W_{nom_{ij}} - \sum_{k \in s_{ij}^{(2)}} Q_{ij}{}^{(k)}, \tag{84}$$

где $Q_{ij}{}^{p}x$ — минимально необходимый расход для рыбного хозяйства.

Требования водного транспорта сводятся к поддержанию определенных расходов воды ниже водохранилищ и поддержанию уровней в подпертых бьефах.

$$Q_{ij}{}^{\text{вт}} \leqslant \sum_{k \in s_{ij}} q_{ij}{}^{(k)} + \frac{Q_{ij}{}^{(1)} + Q_{ij}{}^{(2)}}{2} - W_{nom_{ij}} - \sum_{k \in s_{ij}^{(2)}} Q_{ij}{}^{(k)}. \tag{85}$$

$$W_{\text{вх}_i}{}^{\text{вт}} \leqslant W_{\text{вх}_i}. \tag{86}$$

Поскольку уровень в подпертом бьефе однозначно определяется через объем, то второе условие выражено в виде неравенства (86).

Расходы, требуемые на орошение и энергетику, являются искомыми, поэтому в качестве ограничений не фигурируют. Здесь уместно выразить общее правило построения ограничений.

Ограничения строятся лишь по тем участкам ВХК, приоритет которых выше того уровня, на котором отыскивается решение. Поясним, если в качестве уровня, на котором имеется решение, принять водный транспорт, то ограничения строятся лишь по водоснабжению и рыбному хозяйству [неравенства (85) и (86) будут отсутствовать]. Если же в качестве решения принять энергетику, то появятся дополнительные неравенства, диктуемые требованиями орошения.

Учитывая, что допустимые области нескольких неравенств пересекаются, их общее число можно сократить; так, неравенства (77), (80), (86) дают

$$\max(O;\ W_{\text{вх}_i}{}^{\min};\ W_{\text{вх}_i}{}^{\text{вт}}) \leqslant W_{\text{вх}_i} \leqslant W_{\text{вх}_i}{}^{\max}. \tag{87}$$

Аналогичные выражения можно получить и из других неравенств. Совокупность вышеприведенных уравнений и неравенств образует математическую модель функционирования ВХК, для замыкания которой нужно определить переменные:

$$q_i{}^{(k)};\ q_{ij}{}^{(k)};\ P_{ij}\text{-}\ Q_i{}^{(k)};\ Q_{ij}{}^{(k)};\ Vi \in \Gamma;\ ij \in V.$$

Выше в данной главе дано определение прогнозного незарегулированного притока, в главе III — возвратных вод ($q_i{}^{(k)}$; $q_{ij}{}^{(k)}$). Расходы водопотребителей ($Q_i{}^{(k)}$; $Q_{ij}{}^{(k)}$) задаются графиками и режимами водопотребителей. Управляемыми являются попуски, которые для недефицитных ситуаций легко удовлетворяются за счет ресурсов, а избыток воды идет на накопление в водохранилищах (преимущество отдается вышерасположенным водохранилищам, имеющим ГЭС).

Дефицит в системе может возникнуть как в результате недостатков в водных ресурсах в целом, так и за счет невозможности зарегулирования части стока. Второй вариант возможен, если суммарный регулирующий объем системы меньше потребляемого объема водных ресурсов. И в том и в другом случае составляющие ВХК будут ущемлены; вопрос заключается в определении объекта и мер ущемления.

Сначала устанавливают глубину дефицита D по системе в целом:

$$D = \int_{t_1}^{t_2} \left[\sum_{i \in \Gamma} \left(\sum_{k \in N_i} Q_i^{(k)} - W_{nom_i} - \sum_{k \in s_i^{(1)}} q_i^{(k)} \right) + \right.$$

$$\left. + \sum_{ij \in V} \left(\sum_{k \in s_{ij}^{(2)}} Q_{ij}^{(k)} + W_{nom\,ij} - \sum_{k \in s_{ij}^{(1)}} q_{ij}^{(k)} \right) \right] dt - \sum_{i \in \Gamma} \Delta W_{вх_i}. \quad (88)$$

Для водохранилищ многолетнего регулирования $\Delta W_{вх}$ определяют, решая специальную задачу. Пусть в результате вычислений по формуле (88) $r=5$, получен дефицит $D^r>0$ (вариант $D^r<0$ тривиален). Уменьшая значения r (приоритет), будем получать новые значения D^r и так до тех пор, пока не получим $D^r<0$. Значение r, при котором D^r становится меньше нуля, определяет тех участников, которые не будут подвергаться урезке, то есть все участники с приоритетом $=1, ..., r$.

Все участники с приоритетом $\geqslant r+1$ будут урезаны по объему подаваемой воды (как правило, это относится только к орошению и энергетике).

Простейшим, но не лучшим является способ пропорциональной урезки. В этом случае расходы водопотребителей определяют по формуле

$$Q^{(k)фак} = \xi Q^{(k)тр}, \quad (89)$$

где $\xi = 1 - \dfrac{D}{W_{тр}}$; $W_{тр}$ — требуемый объем воды:

$$W_{тр} = \int_{t_1}^{t_2} \left[\sum_{i \in \Gamma} \sum_{k \in N_1} Q_i^{(k)} + \sum_{ij \in V} \sum_{k \in s_{ij}^{(2)}} Q_{ij}^{(k)} \right] dt.$$

Более правильным является подход, при котором урезка всех участников осуществляется исходя из принципа равного относительного ущерба. Обозначив через $W_i^{(k)}$ и $W_{ij}^{(k)}$ величины $\int_{t_1}^{t_2} Q_i^{(k)} dt$ и $\int_{t_1}^{t_2} Q_{ij}^{(k)} dt$ соответственно, это условие можно записать в виде

$$\frac{W_i^{(k)}}{W_{i\,тр}^{(k)}} = K_м \left\{ 1 - \left(1 - \frac{W_{op\,ij} \dfrac{\eta_c}{E_{ij}} + [O_p](K-1)}{(E_{тр}+U)} \right)^{\lambda_j} \right\} = \text{idem}. \quad (90)$$

Здесь учитывается, что в зависимости от мелиоративного режима и различного КПД систем ущемление водопотребителей различно (см. гл. IV)

Указанное условие приводит к системе нелинейных уравнений, в результате решения которых и устанавливают значения $W_i^{(k)}$ и $W_{ij}^{(k)}$.

Интересно рассмотреть еще подход, при котором от ВХК необходимо добиться максимального экономического эффекта в условиях дефицита воды или же минимума народнохозяйственного ущерба при недоподаче ее участникам комплекса. В этом случае поставленная задача формируется в виде задачи оптимального управления, где в качестве критерия выступает функционал:

$$y = \int_{t_1}^{t_2} \left[\sum_{i \in \Gamma} \sum_{k \in N_i} f_i^{(k)}(Q_i^{(k)} - Q_i^{(k)\text{тр}}) + \right.$$

$$\left. + \sum_{ij \in V} \sum_{k \in s_{ij}^{(2)}} f_{ij}^{(k)}(Q_{ij}^{(k)} - Q_{ij}^{(k)\text{тр}}) \right] dt, \qquad (91)$$

где f — функция ущерба от недоподачи воды участникам ВХК.

Примером этого может служить минимизация функции (68). В этом случае $Q_i^{(k)}$ и $Q_{ij}^{(k)}$ определяют решением задачи динамического программирования.

Методы решения таких задач подробно рассмотрены Р. Белманом, Н. П. Федоренко. Здесь важно отметить, что введение критерия качества управления (91) ставит в наиболее жесткие условия тех участников, эффективность использования воды которыми минимальна. Это может привести или к увеличению эффективности использования воды этими участками, или к некоторому перераспределению населения, то есть введение такого жесткого критерия требует дополнительных исследований социальных факторов.

Определение оптимального объема сработки водохранилищ многолетнего регулирования для покрытия дефицита в текущем году основывается на решении стохастической задачи динамического программирования, в которой функционирование водохранилищ в многолетнем разрезе описывается стохастической моделью, а целевая функция зависит от вероятности ущерба в народном хозяйстве, который может возникнуть из-за потерь в орошении и энергетике.

Принятая математическая модель функционирования водохранилищ многолетнего регулирования имеет вид:

$$W_{\text{вх}_{t+1}} = W_{\text{вх}_t} = W_{\text{вп}_j}^{\text{тр}} + W_{o_t} + D_t, \qquad (92)$$

где $W_{\text{вх}\,t}$ — объем воды в водохранилище в текущем году; $W_{\text{вх}\,t+1}$ — объем воды в водохранилище в следующем году; $W_{\text{вп}\,j}$ — объем воды, требуемый всеми водопотребителями и водопользователями, находящимися на границе ВХК в текущем году; D_t — дефицит в текущем году.

Дефицит D_t представляют в виде

$$D_t = D_t^* - \Delta W_{j\,\text{вп}},$$

$$D_j^* = W^{\text{тр}}{}_{\text{вп}j} - W_{o_t}; \quad \Delta W_{\text{вп}} = W_{\text{вх}_t} - W_{\text{вх}_{t+1}}. \qquad (93)$$

Пусть $F(W_{it})$ — функция распределения стока бассейна, тогда функция распределения D^* будет

$$F(D_j^*) = P(W_{j_0}{}^m < W_{\text{вх}_t}{}^{\text{тр}}); \quad 0 \leqslant D^* \leqslant W_{\text{вх}_t}.$$

Ущерб в энергетике, возникающий из-за незаполненного водохранилища

$$У_j{}^э = У^э\{[W_{\text{эп}}{}^{\max}] - W_{\text{эп}_t}\}.$$

Ущерб в орошении есть функция дефицита D_j, то есть

$$У_t{}^э = У^n D_j$$

или с учетом (93)

$$У_j{}^n = У^n(D_j). \tag{94}$$

Будем считать, что для устойчивости работы ВХК в многолетнем разрезе необходимо, чтобы суммарный ожидаемый ущерб в энергетике и орошении за некоторый планируемый промежуток времени был минимален

$$\sum_{t=1}^{T} (У_j{}^э + У_j{}^n) \rightarrow \min, \tag{95}$$

где T — число лет в планируемом промежутке.

С математической точки зрения более правильно считать $T \longrightarrow \infty$, однако в практических расчетах при ограничении можно поставить в качестве граничного условия следующее:

$$V_n \rightarrow V_{\max}.$$

С учетом этих выражений ожидаемый ущерб в энергетике и орошении будет иметь вид

$$У = \sum_{t=1}^{T} \Big\{ У^э \{[W_э{}^{\max}](W_t - \Delta W_t)\} + \int_0^{П_э} У^n(D_t{}^* - \Delta W_t) dF(D^*) \Big\}. \tag{96}$$

Величину ΔW_t будем рассматривать как управление, а выражение (95) с учетом того, что W_t есть также случайная величина с собственным законом распределения, приведем к следующему виду:

$$У = \sum_{t-1}^{T} \Big\{ \int_0^{W_t} У_э[W^{\max} - (W_t - \Delta W_t)] dF(W_t) + \int_{W_{j\,\text{тр}}}^{W_{\text{в тр}} + (W_{\max} - V_{t+1})} У^э(W^{\max} - W_t) dF(W_t) + \int_0^{W_{j\,\text{тр}}} У^n(D^* - \Delta W_t)\, dF(D^*) \Big\}. \tag{97}$$

Дифференцируя выражение (96) по ΔW_t и приравнивая его к нулю, получим систему из T нелинейных уравнений вида

$$F_j(\Delta W_j;\ \Delta V_{j+1}) = 0 \quad W_{j+1,\ldots,N}, \tag{98}$$

решением которой и будут $\Delta W_j (j=1, \ldots, N)$; ΔW_{j+1} найдем из условия $W_{j+1} \longrightarrow W_{max}$.

КОРРЕКТИРОВКА ВОДОПОТРЕБЛЕНИЯ

Принципы и положения, приведенные в главе IV, позволяют с использованием комплекса математических средств, вычислительной техники и средств информации получить более уточненные данные о фактически необходимом оптимальном водопотреблении. При этом учет текущей метеорологической, хозяйственной, почвенной и другой обстановки дает возможность во многих случаях значительно уменьшить водопотребление против планового в интересах орошаемого земледелия. Существующая же практика заявок, по среднемноголетним данным и режиму орошения, зачастую приводит к большим народнохозяйственным потерям стока, особенно в начале и конце вегетации.

Модели водного и солевого балансов, приведенные в главе IV, позволяют обобщить изменение водопотребления на больших площадях. Однако из большого многообразия факторов и характеристик этого водопотребления значительная часть не может быть дискретно определена на всей площади массива. Поэтому для установления изменений всех этих индивидуальных параметров выбирают типичный эталонный участок, который принимают за модель определенной части площади орошения (гидромодульного района) так, чтобы закономерности в изменении водного и солевого балансов параметров влаго- и солепереноса были аналогичны таковым в целом для балансового контура. За расчетную основу принимают водный баланс зоны аэрации совместно с балансом грунтовых вод. Сами размеры зоны аэрации за все время работы системы остаются постоянными в плане, но переменными по глубине, так как границы зоны аэрации (ненасыщенной, активной толщи почвогрунтов) определяются поверхностью земли и уровнем (переменном во времени и пространстве) грунтовых вод.

Эталонный воднобалансовый участок является моделью всей мелиоративной разности, у которой горизон-

тальный масштаб совпадает с натурой, а площадный уменьшен во много раз.

Для таких площадных моделей целесообразно выдерживание идентичности гидрогеологических условий:

индекса рассоляющего действия поливов — $O_c a + O_p[(1-\eta_c)+\eta_c(1-\eta_{шт})]$;

естественной дренированности П/О; положения и динамики уровня грунтовых вод.

К этим условиям необходимо добавить: геоморфологическую идентичность условий по классификации, приведенной в главе III, кроме того, направленность и характеристика мелиоративных режимов и почвообразовательных процессов должны быть одинаковы; искусственная дренированность и ее интенсивность, тип конструкций оросительной сети должны быть идентичны для всей зоны, а также должно быть соблюдено единство этапов освоения территории.

На основе моделей и принципов (гл. IV) получена возможность рассчитывать суммарное водопотребление культур хлопкового комплекса не только в целом за сезон или помесячно, но и по более узким периодам, включая декаду.

Эта задача решена для АСУ ЮГК коллективом сотрудников САНИИРИ при участии отдела АСУ Средазгипроводхлопка.

По районированию, проведенному САНИИРИ и Средазгипроводхлопком, для бассейна реки Сырдарьи достаточно иметь 50...55 воднобалансовых станций, которые, являясь типичными каждая для своей зоны по указанным признакам, позволили бы оперативно корректировать все водопотребление в бассейне. При этом ВБС могут не только обеспечивать прогнозными и ретроспективными данными ГУ ВХК, но и распространять эту информацию по всем хозяйствам и организациям, использующим обслуживаемые ВБС орошаемые земли. В информацию, кроме прогноза и анализа водного режима и водопотребления, следует включить возможность привлечения внутрисистемных дренажных вод, их допустимую минерализацию, а также характерные кривые «урожайность — водопотребление».

Если в результате прогнозирования водопотребления на ВБС и сопоставления с водными ресурсами выявится дефицит воды, то в период сомкнутого листового покрова и минимума физического испарения можно ре-

комендовать покрытие части дефицита и наращивание влажности зоны аэрации путем увеличения капиллярного подсоса, подпором уровня грунтовых вод на основе зависимостей, приведенных в главе IV.

Прогноз водопотребления должен сопровождаться определением динамики соленакопления в зоне аэрации.

Организованные в САНИИРИ с участием Главсредазирсовхозстроя и Минводхоза Узбекской ССР водно-балансовые станции позволяют резко снизить удельные расходы воды на гектар орошения. В 1981—1982 гг., например, в совхозе № 18 Голодной стени, а затем и во всем Акалтынском районе так экономно было организовано водопользование на основе рекомендаций ВБС, что урожай в 3,5 т/га получен при объеме водопотребления 6500...7100 м³/га, что на 800...1050 м³/га меньше, чем у близлежащих хозяйств.

Широкому развитию ВБС пока мешает нерешенность вопроса о средствах для их финансирования и недостаток оборудования, приборов, а также специалистов. Включение ВБС в систему АСУБ позволит ускорить решение указанных вопросов и одновременно будет способствовать экономному расходованию водных ресурсов в дефицитных бассейнах.

Глава VI. ПЕРСПЕКТИВНОЕ ПЛАНИРОВАНИЕ ВХК

ПЕРСПЕКТИВА ВОДНЫХ РЕСУРСОВ И ОСНОВНЫЕ ФАКТОРЫ, ИХ ОПРЕДЕЛЯЮЩИЕ

Как уже было показано ранее, в засушливой зоне нашей страны водные ресурсы являются одним из главных ограничивающих факторов развития не только сельского хозяйства, но даже всей экономики, а в отдельные периоды и для отдельных зон становятся сдерживающим фактором даже жизнедеятельности человека.

Дальнейшее повышение продуктивности орошаемого земледелия и валовой продукции всего АПК теснейшим образом связано с развитием водного хозяйства, с возможностью привлечения дополнительных и высвобождения собственных водных ресурсов, а также максимальной рационализацией современного уровня использования. Отсюда вытекает важность планирования всех этих мероприятий в системе ВХК.

Однако разработка плана использования водных ресурсов бассейна или ВХК еще не означает его немедленное исполнение, так как обычно на все мероприятия и объекты, позволяющие увеличить водные ресурсы или повысить гарантию их устойчивого использования, а также резко сократить удельное водопотребление в различных отраслях народного хозяйства, требуется продолжительное время.

По среднеазиатским рекам за последние 20...25 лет располагаемые водные ресурсы увеличились на 22 км^3 в год. Обычно каждый из крупных гидроэнергетических комплексов, возводимых с этой целью, требовал от 8 (Кайраккумский гидроузел) до 22 лет (Нурекский гидроузел). Не менее сложны и продолжительны работы по реконструкции староорошаемых земель, использование которых является важнейшим средством экономного расходования водных ресурсов. Для завершения перво-

очередных работ по переустройству оросительных систем Средней Азии на площади 2,5 млн. га, позволяющих получить экономию в 10 км³ воды в год в самом оптимальном варианте, потребуется не менее 20 лет при условии выделения компенсирующих участков за счет отчуждения ныне орошаемых земель и некоторого снижения общей валовой продукции орошаемого земледелия или за счет ввода специальных новых земель без назначения на них плана роста продукции орошаемого земледелия. Без осуществления таких мероприятий при сохранении существующих темпов реконструкции для этих работ потребуется как минимум 40 лет только для доведения этих работ до сегодняшнего уровня их в Голодной степи.

В связи с этим перспективное планирование водохозяйственного комплекса должно охватывать период до 50 лет и предусматривать целый ряд сложных задач и мероприятий.

В прогнозировании использования водных ресурсов и их развития в перспективе необходимо учитывать социальный, экономический и экологический факторы и тренды тех тенденций, которые выявлены сейчас, и их прогноз, если мы не намерены вносить существенные коррективы в их объемы и направленность. При этом планирование сведется к строгому построению трендов и решению водохозяйственных балансов для этих перспективных лет. Однако такое положение встречается очень редко, и параллельно наряду с анализом трендов необходимо либо составлять мероприятия по их ломке, либо резко менять существующий уровень использования вод. Поэтому необходимо разработать наиболее эффективные направления и пути возможной рационализации водных ресурсов и связанных с ней отраслей народного хозяйства.

Особое внимание здесь должно быть уделено: оптимальному направлению развития орошаемого земледелия, обеспечивающему наилучшие показатели продуктивности сельскохозяйственного производства на единицу воды; изменению удельных норм водопотребления, а также характера и состава речных и возвратных вод и связанным с ним изменениям объема и качества стока; установлению режима наносов и возможности использования речных русл, сокращению непроизводительных затрат стока и качеству возврата.

В основу таких прогнозных планов закладываются сведения об ожидаемых демографических изменениях, экономических макропоказателях, межотраслевые балансы, учитывающие соответствие между конечным потреблением, выпуском продукции, ввозом и вывозом. В основу исходных (стартовых) данных закладывается анализ периода наблюдений в 20...30 лет.

Особое значение приобретает необходимость перспективного планирования ВХК в связи с состоянием и тенденцией к ухудшению качества вод под влиянием антропогенных воздействий. В настоящее время мы не всегда тотчас же получаем реакцию среды на эти ухудшения качества. Минерализация воды (в пределах несколько более ПДК) начинает проявляться, как известно, лишь на 3...5-й год вследствие буферных свойств почвы. Отрицательное воздействие загрязнителей подземных вод, особенно вследствие инфильтрации воды на шламохранилищах и отвалах химических предприятий, предприятий лубяной и ряда других отраслей, обнаруживается обычно спустя несколько лет аналитическим путем. Но отрицательные (иногда и канцерогенные) свойства могут начать проявляться и через десятилетия.

Обследование, оценка и разработка мер, связанных с ухудшением качества вод, требуют специальных значительных работ и времени, чтобы либо предотвращать эти загрязнения, либо перенести водозаборы.

ГЕНСХЕМЫ РАЗВИТИЯ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ

Перспективные планы использования водных ресурсов реализуют с помощью бассейновых схем. В состав таких схем развития водных ресурсов на основе анализа существующей водохозяйственной и экономической обстановки в бассейне входит оценка настоящего уровня использования земельных и водных ресурсов, перспектив развития орошения как с точки зрения потенциальных почвенно-мелиоративных условий, так и уровня демографического и экономического потенциала. Особое внимание уделяют совершенствованию современного водопользования как в орошаемом земледелии, так и в отраслях экономики.

Важнейшими задачами схем являются: определение перспективных уровней регулирования стока, обоснова-

ние и выбор расположения водохранилищ; установление наиболее целесообразных направлений развития орошения и массивов освоения, организация необходимого водосбора и водоотвода с орошаемых территорий; оценка технических и экономических возможностей для выполнения намечаемых водохозяйственных мероприятий; анализ реальных мощностей без строительства и индустрии.

При составлении схемы большое внимание следует уделить изменению экологической обстановки в целом по бассейну и особенно в дельтовой зоне. Изменения гидрологических, климатических, почвенных и гидрогеологических характеристик определяют по рекомендациям III главы. Необходимо учитывать и изменение баланса раскладки наносов при регулировании стока и наращивании водозабора по длине ствола реки, а также распределение солей по площади бассейна. Среди экологических акцентов нельзя упускать сохранение оросительной способности отдельных участков реки по отношению к ранее орошавшимся землям.

Примером разрабатываемых схем является Схема использования водных ресурсов реки Сырдарьи, составленная институтом «Средазгипроводхлопок» в 1976—1980 гг. Она предусматривает удовлетворение плановых потребностей в воде и предельное развитие орошения на собственных ресурсах. Схема ограничивается десятилетним периодом и определяет предельные размеры площади орошаемых земель в бассейне с учетом их рационального использования на современном техническом уровне.

В схеме на основе статистических данных ЦСУ союзных республик, министерств сельского и водного хозяйства, имеющихся нормативов по режиму орошения установлены лимиты вододеления между республиками, в пределах которых выбраны путем анализа природных и экологических условий наиболее целесообразные для орошения земли и системы.

Главным методом анализа перспективы использования воды в указанной схеме является изменение водохозяйственного баланса бассейна в увязке с изменением общего водного баланса территории. Намечены пути совершенствования водопотребления и водопользования в первую очередь в орошаемом земледелии; определены те уровни удельного водопотребления, которые должны

быть достигнуты при реконструкции оросительных систем в бассейне.

Большим преимуществом схемы является оценка наряду с поверхностными всех водных ресурсов в бассейне, включая местные, подземные и возвратные воды, а также используемые осадки.

В то же время следует указать на необходимость внесения некоторых дополнений в существующий объем составленной схемы. С помощью привлечения дистанционных методов, получивших большое развитие в связи с космическими исследованиями, возможна более реальная оценка фактического состояния и перспектив развития земельных и водных ресурсов.

Неотъемлемой частью схемы должен быть поиск оптимальных путей развития орошаемого земледелия в сочетании с социально-экономическими условиями.

В схеме намечается уровень совершенствования водопользования и водопотребления путем модернизации; при этом должны оцениваться необходимые объемы материальных затрат, капиталовложений, возможные сроки осуществления этих работ, а также их пути. Последнее имеет важное значение, так как в условиях интенсивно действующих сельскохозяйственных производств с почти круглогодичным циклом агротехнических работ (8...10 мес) возможность реконструкции в свободный период, особенно в связи с неблагоприятными природными условиями в это время, ограничена. Проведенные расчеты (В. А. Духовный, Б. Н. Кадыров) показали, что при таком методе период реконструкции даже на одном хозяйстве растягивается на 10...14 лет.

Необходимость выделения компенсационных полей для ускорения реконструкции в то же время требует специальной программы осуществления этих работ, постоянного контроля за ними и целевого выделения средств на реконструкцию. Выявляется острая потребность в схеме не только разработки этой программы, но и создания таких органов, которые постоянно управляли бы бассейном в его перспективном развитии в соответствии со схемой и одновременно осуществляли постоянную корректировку схемы по мере изменения текущей обстановки и динамики технических решений и средств, отражающих рост НТП.

Наконец, важно, чтобы в схемах рассматриваемая перспектива развития региона в бассейне основывалась

бы на сохранении существующих тенденций, чтобы в них отразилось серьезное вмешательство в создание новых экономических, технологических и социальных направлений развития, с учетом максимального положительного воздействия на экологию в бассейне, а также предупреждения отрицательных проявлений в окружающей среде под влиянием антропогенных мероприятий, включая водохозяйственные.

РАЗРАБОТКА ОПТИМАЛЬНОГО НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ СЕЛЬСКОЗЯЙСТВЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА В БАССЕЙНЕ

В условиях ограниченных водных ресурсов большое значение в обеспечении эффективного развития экономики имеет выбор наиболее целесообразного набора сельскохозяйственных культур на новых землях с целью получения максимального прироста национального дохода на единицу воды и капиталовложений. Известно, что различные ведущие культуры определяют различную степень удельной эффективности производства, нагрузку трудоспособного населения, наконец, удельные затраты воды. Кроме того, увеличение производства тех или иных культур определяет направленность и объем перерабатывающих производств и занятость населения в них.

При этом для установления оптимального варианта развития направлений сельскохозяйственного производства на базе орошаемого земледелия следует исходить из выполнения заданий республики (региона или зоны) по отношению обязательных поставок на вывоз и внутреннее потребление определенных видов сельскохозяйственного производства; ожидаемого роста (тренда или возможности повышения) урожайности сельскохозяйственной культуры; особенностей социально-экономических и природных условий региона и их изменений в перспективе.

Исходя из этого, задача, стоящая перед развивающимся орошаемым земледелием, состоит в выборе варианта набора сельскохозяйственных культур (в основном на приростах орошаемых земель), обеспечивающего выполнение государственных задач по производству сельскохозяйственных продуктов.

Чтобы сформулировать оптимальные принципы выбора направлений развития сельскохозяйственного про-

изводства в орошаемом земледелии, необходимо установить критерии эффективности и ограничения. Ограничения состоят, как уже было сказано, в располагаемых ресурсах воды:

$$W_{\text{ор}} \leqslant [W_{\text{ор}}] \tag{99}$$

и заданиях по производству отдельных видов продукции:

$$P_1 \geqslant [P_1]; \quad P_2 \geqslant [P_2] \ldots P_j \geqslant [P_j]. \tag{100}$$

Может быть установлено еще одно ограничение по объему капиталовложений, если требуется, чтобы темп роста их не превышал определенного значения:

$$\sum_{t=1}^{l} \sum_{j=1}^{n} K_{jt} \leqslant [K]. \tag{101}$$

Чтобы подойти к определению народнохозяйственной социально-экономической эффективности, воспользуемся предложением Т. С. Хачатурова, по которому эффективность капиталовложений должна определяться изменением отношения национального дохода или заменяющей его чистой продукции к приросту основных средств. Заменив последнее на окупаемые капиталовложения, получим на 1 га:

$$Э = \frac{\Delta (m_j - \bar{m}_j - \bar{V}_j)}{\bar{K}_j} \to \max$$

или на всю площадь (здесь введены капиталовложения на реконструкцию, так как без них невозможно снижение удельного водопотребления на существующих землях и соответствующее развитие орошения):

$$Э = \frac{\sum_{j=1}^{n} \Delta (r_{дj} + H_{oj} + V_j)}{\sum_{j=1}^{n} \bar{K}_j F_j + \bar{K}_{\text{р}} F_{\text{р}}} \to \max, \tag{102}$$

где $Э$ — эффективность в долях единицы; $r_д$ — чистый доход всего; m_j — чистый доход от культуры j на 1 га; H_{oj} — доля налога с оборота всего; $\bar{m}_j$ — то же, доля налога с оборота на 1 га; V_j — зарплата в сельскохозяйственном производстве при основном направлении культуры j; V_j — то же, удельная на 1 га; F_j — площадь, занятая культурой j; $\bar{K}_j$ — окупаемые капиталовложения в развитие орошаемого земледелия с ведущей культурой j на 1 га; $\bar{K}_{\text{р}}$ —

удельные капиталовложения в обеспечение работ по реконструкции систем до доведения забора оросительной воды до нормы $O_р$; $F_р$ — площадь реконструкции.

В числителе выражения (102) $m_j+\overline{m}_j$ дает экономическую эффективность, а $\overline{V}_j$ — социальную, показывающую изменение суммарной занятости населения и уровень его материального благосостояния.

Для каждого направления хозяйства по ведущей культуре на основе обработки данных статистической отчетности могут быть получены основные показатели, позволяющие решить оптимизационную функцию. Величина $(m_j+\overline{m}_j)$ приводит к зависимости от удельной урожайности и средней цены сельскохозяйственной культуры $\overline{Ц}_j$, то есть валового объема производства данной продукции (B_j):

$$B_j/F_j = Ц_j У_j(t), \tag{103}$$

$$m+\overline{m}_j = f\{Ц_j У_j(t)\}, \tag{103а}$$

$$m_j = f(B_j/F_j), \tag{103б}$$

которая выражается криволинейной зависимостью для разных культур. Учитывая же определенную долю заработной платы на производство единицы продукции $K_з$, можно определить

$$V_j = K_з B_j. \tag{104}$$

Для установления прироста суммарного эффекта следует иметь в виду, что без развития дополнительного орошения суммарная чистая продукция за расчетный промежуток изменилась бы благодаря естественному росту урожайности, которую можно определить, используя анализ тренда по методу среднего или огибающих кривых.

Порядок расчета следующий:

определяют ограничения по выращиваниям (99), (100), (101);

вычисляют исходные показатели производства и их тренды без дополнительного орошения. Для формирования трендов урожайности можно воспользоваться зависимостями, приведенными в главе III;

устанавливают налог с оборота $\overline{m}_j$ на единицу продукции, затем валовую продукцию по формуле (103 *б*) и ее долю на зарплату по (104);

определяют по графику зависимости чистый доход на единицу продукции;

устанавливают исходные сводные показатели на расчетный пе-

риод без дополнительного развития орошения, характерную занятость населения.

Производительность труда в сельском хозяйстве на одного трудоспособного

$$П_{р_t} = \sum_{j=1}^{n} B_j / l_t \text{ по сравнению с } П_{р_0} = \sum_{j=1}^{n} B_{j0} / l_0. \qquad (105)$$

Удельная зарплата на одного трудоспособного

$$З_t = \sum_{j=1}^{n} V_{j_t} / l_t \text{ по сравнению с } З_0 = \sum_{j=1}^{n} V_{j0} / l_0. \qquad (106)$$

Обычно должно выдерживаться соотношение

$$\frac{П_{р_t}}{П_{р_0}} \geqslant \frac{З_t}{З_0};$$

определяют осредненные оросительные нормы на культуру брутто исходя из того, что

$$W_{ор} = \sum_{j=1}^{n} \frac{O_{р_j} F_j}{\eta} \leqslant [W_{ор}]; \qquad (107)$$

устанавливают удельные затраты капиталовложений на орошение культур различного вида.

Далее последовательным перебором приростов площадей нового орошения между различными культурами $\Delta F = \sum_{j=1}^{n} \Delta F_j$ находят значения составляющих оптимизационной функции (102) в развернутом виде:

$$\frac{\sum_{j=1}^{n} \{f(B_t/F_j)\,\Delta F_j + H_{0j} У_{tj} \Delta F_j + K_з У_{tj} У_j F_j\}}{\sum_{j=1}^{n} \overline{K}_j \Delta F_j + F_р \overline{K}_р} \to \max. \qquad (108)$$

Формула Т. С. Хачатурова по определению прироста чистой продукции характеризует изменение доли национального дохода, приходящейся на потребление, и в этой связи является показателем социальной части народнохозяйственного эффекта для оценки эффективности капиталовложения. Однако при рассмотрении региональных задач, где динамика роста и миграции населения определяет наряду с развитием производства, особенно сельскохозяйственного, степень занятости населения, изменение в целом зарплаты в абсолютном выражении не определяет изменения благосостояния населения, так как не отражает изменения его численности.

Между тем разные направления развития орошаемого земледелия имеют различную потребность в трудовых ресурсах и поэтому требуют привлечения дополнительного числа рабочих — в зонах с дефицитом рабочей силы или, наоборот, в зонах с избытком трудоспособного населения позволяют дополнительно занять определенное число людей.

Поэтому более характерным для установления относительной

эффективности развития орошаемого земледелия является изменение занятости и уровня благосостояния трудоспособного населения. Очевидно, показателем этого может быть изменение не зарплаты в целом, а удельной зарплаты на одного трудоспособного, умноженной на число вовлеченных в сферу сельскохозяйственного производства людей.

Пусть без дополнительного орошения изменение зарплаты составляет

$$K_з\left(\frac{B_и}{l_{t_1}}-\frac{B_0}{l_0}\right),$$

а на общее число трудоспособного населения в среднем

$$K_з\left(\frac{B_и}{l_t}-\frac{B_0}{l_0}\right)\frac{l_0+l_t}{2};$$

с дополнительным орошением

$$K_з\left(\frac{B_t}{l_t}-\frac{B_0}{l_0}\right)\frac{l_0+l_t}{2}K_з;$$

тогда общее изменение зарплаты вследствие дополнительного орошения составит

$$\Delta З=\frac{B_t-B_и}{l_t}\cdot\frac{l_0+l_t}{2}K_з,$$

что и будет служить мерой социального эффекта. При этом, если $l_t>l_0$, а $B_и\approx B_0$, то без дополнительного орошения социальный эффект может быть и отрицательным, а при развитии орошения он будет тем больше, чем больше $B_t-B_и$ и соотношение l_t/l_0.

Поэтому предлагается вместо последнего выражения (108) ввести выражение

$$K_з\frac{B_t-B_и}{2}\left(1+\frac{l_0}{l_t}\right).$$

Тогда окончательно оптимизационная функция представится в виде

$$\frac{\sum_{j=1}^{n}\left\{f\left(\frac{B_j}{F_j}\right)\Delta F_j+HO_jy_{tj}\Delta F_t\right\}+K_з\frac{B_t-B_и}{2}\left(1-\frac{l_0}{l_t}\right)}{\sum_{j=1}^{n}\overline{K}_j\Delta F_j+F_рK_р}\to\max, \tag{109}$$

где $B_t=\sum_{j=1}^{n}B_j(F_j+\Delta F_t)$ — при дополнительном орошении; $B_и=\sum_{j=1}^{n}B_jF_j$ — без него.

По предложенной методике в лаборатории НТП САНИИРИ под руководством автора В. Н. Москвитиным и А. П. Подкоповым сделан выбор направления сельскохозяйственного производства Узбекистана на перспективу.

В результате установлена целесообразность некоторого сокращения удельного веса площадей, занятых под хлопчатником (до

31% вместо 50% в настоящее время) и рисом, увеличения в 2 раза площади под садами, виноградниками, овощами, бахчевыми и в 2,5 раза — под травами, кукурузой и другими кормовыми.

Это позволит при ограниченных водных ресурсах воды с учетом первой очереди переброски стока сибирских рек и лимита капиталовложений — увеличить производство продукции агропромышленного комплекса республики в 1,6 раза при снижении удельного водопотребления на 36% и получении максимально возможного при этом роста национального дохода.

ОПТИМИЗАЦИЯ РАЗВИТИЯ ВХК НА ПЕРСПЕКТИВУ

Применение тех или иных направлений совершенствования водопользования (глава IV), уменьшение безвозвратных потерь воды в ВХК не означает, однако, получения эквивалентного эффекта в связи с тем, что, как было показано выше, возвратные воды во многих районах аридной зоны возвращаются обратно в ствол реки и используются снова в нижних частях бассейна водопотребителями и водопользователями. Поэтому во многих частях бассейна уменьшение потерь и снижение водопотребления приводят тут же к эквивалентному снижению возвратных вод и к потере антропогенной части водного ресурса, но в то же время к улучшению качества воды.

Поэтому водные ресурсы и водопотребители, в первую очередь орошаемое земледелие, находятся в сложном взаимодействии, которое на перспективу должно быть рассмотрено в составе большой системы ВХК и связанных с ним отраслей. Сложность этой системы учитывается еще из-за необходимости учета личных долговременных тенденций и трендов, как близких к детерминированным, так и чрезмерно неопределенным и вероятностным, а период прогнозирования, на который распространяются экстраполяцией исходные изменения ретроспективных рядов, является достаточно большим — 15...20 лет.

Исходя из проблемно-целевого комплексного планирования глобальная цель — проблемы развития ВХК на базе орошения — заключается в обеспечении такого развития водного и сельского хозяйства, при котором достигалась бы возможность получения максимальной народнохозяйственной продукции в регионе при минимуме капиталовложений и максимальном использовании собственных природных и экономических потенциалов,

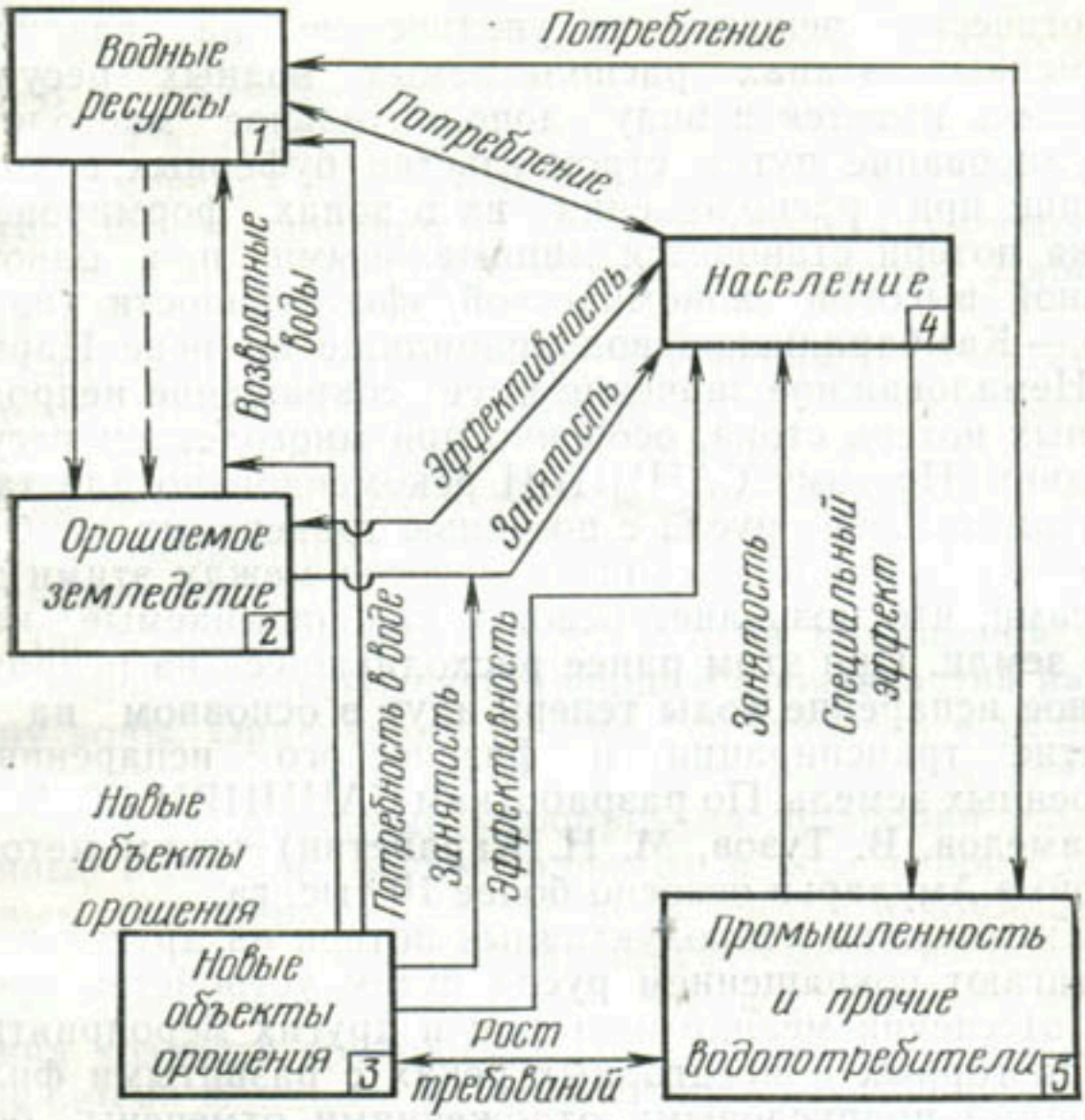


Рис. 51. Схема связи блоков в модели перспективного планирования ВХК.

включая использование роста трудоспособного населения.

С этой целью разобьем рассматриваемую проблему на следующие основные блоки, взаимодействующие между собой: водные ресурсы, сельское хозяйство, объекты нового орошения, население и промышленность (рис. 51).

Блок 1 (водные ресурсы) включает данные о поверхностных и подземных источниках, местных водных ресурсах как по числу, так и по режиму и качеству. Одновременно на основе рекомендованных выше зависимостей прослеживается формирование возвратных вод, как естественных, так и антропогенных, изменяющихся в зависимости от принимаемого технического уровня системы.

В прогнозе блока учитываются все возможные тех-

нологические решения по увеличению на различных временных этапах располагаемых водных ресурсов.

Здесь имеется в виду дополнительное многолетнее регулирование путем строительства буферных водохранилищ; при расположении их в зонах формирования стока потери становятся минимальными при одновременной высокой экономической эффективности (например,— Камбарлинское водохранилище на реке Нарын).

Немаловажное значение имеет сокращение непродуктивных потерь стока, особенно при многолетнем регулировании. Поэтому САНИИРИ рекомендовано для таких условий сужение русла с помощью траверсных дамб при целенаправленной раскладке насосов между этими траверсами, что позволяет освоить так называемые каирные земли. При этом ранее расходившиеся на непродуктивное испарение воды теперь идут в основном на покрытие транспирации и физического испарения с освоенных земель. По разработкам САНИИРИ (Х. А. Ирмухамедов, В. Тузов, М. Н. Карапетян) таким методом в пойме Амударьи освоено более 10 тыс. га.

Уменьшения непродуктивных потерь на других реках достигают сокращением русла путем устройства прорезей, отсечения меандр и стариц и других мероприятий.

На горных и предгорных реках с развитыми фильтрующими подрусловыми отложениями отмечены большие фильтрационные потери. Здесь целесообразно транспортирование по бетонным руслам в обход естественного или по его спрямленной части (русло рек Санзар в Джизакской области, Шахимарданская — в Ферганской долине и др.).

Создание водохранилищ на равнинных участках рек приводит к образованию мелководий и к большой потере стока. На этих участках можно рекомендовать строительство польдерных систем с отсечением мелководий защитными дамбами. В этом случае исходные непродуктивные затраты стока на 1 га (1 400...1 500 мм в год) почти равны продуктивной эвапотранспирации риса и других культурных посевов.

Между тем посевы хлопчатника, лука и других влагоемких культур в этих условиях приводят не только к снижению продуктивности земель, но и к большим непродуктивным расходам воды вследствие инфильтрации и подтопления нижележащих земель.

Перспективно создание и широкое внедрение районированных сортов орошаемых культур. Большие резервы

повышения продуктивности орошаемого земледелия имеет внедрение совершенной системы земледелия (М. В. Мухамеджанов).

Среди других показателей следует учитывать ожидаемые изменения природных условий, а также длительные возможные отклонения от среднемноголетних рядов стока (Дружинин, 1976; Дружинин, Хамьянова, Лабоновская, 1977).

Блок II (сельское хозяйство) отражает существующее состояние сельского хозяйства и сложившиеся характеристики орошаемого земледелия, структуру площадей, удельные показатели водопотребления, технический уровень, тренд урожайности и резервы повышения его эффективности.

Здесь очень важно наметить пути повышения продуктивности сельскохозяйственного производства на единицу воды. Ориентация на этот показатель в условиях дефицита воды заставляет постоянно осуществлять не только мелиоративные мероприятия, подробно рассмотренные выше и осуществляемые в ходе строительства новых совершенных оросительных систем и комплексной реконструкции ранее орошавшихся земель, но и организационные и агротехнические. Это и улучшение обеспечения хозяйств трудовыми, материальными ресурсами и основными фондами, и оптимальное размещение культур по зонам с учетом максимального использования почвенных и климатических условий. Все это позволяет значительно повысить продуктивность орошаемого земледелия. Известно, что адырные земли, высокие горные долины являются наилучшей зоной развития садоводства.

Все эти показатели, включая эффективность и требуемые капиталовложения на реконструкцию оросительных систем и другие мероприятия организационного и агротехнического плана, оцениваются с учетом возможного изменения цен и удельных капиталовложений. Особое значение имеет определение роста урожайности, который должен выявить тренд, независимый от скачкообразных изменений водообеспеченности, климатических и других аномалий, и наложение на него в перспективе решающих факторов на основе выявления частных связей. Здесь можно воспользоваться аналогом ретроспективного ряда с помощью множественной корреляции зависимости, вид которой заранее установлен теоретически однофакторными экспериментами.

Блок III (объекты нового орошения) характеризуют возможные массивы нового орошения в различных зонах бассейна, включая бонитет новых земель, тренд их продуктивности, возможные технические решения оросительных систем, ориентировочные стоимости капиталовложений, расходы воды, эксплуатационные затраты.

Блок IV (население) дает статистическую информацию динамических прогнозов населения, не управляемых в модели: рост всего населения, в том числе трудоспособного, в том числе сельского; существующие тенденции в миграции населения вне зоны, особенно в сельской местности, в промышленность, в зону обслуживания; рассматривается производительность труда, зарплата.

Блок V (промышленность, прочие водопотребители) характеризует перспективное и существующее состояние развития всех водопотребителей и водопользователей несельскохозяйственного назначения, наличие у них потенциалов в соответствии с ранее намеченными, эффективность использования воды; потребность в людях и т. д.

Здесь следует выявить и учесть ряд тенденций в развитии водопотребителей, связанных не только с объемом производства промышленности, но и с нарастанием дефицита топлива и энергетических ресурсов и др. Увеличение размера городских и промышленных агломераций и связанного с ними водопотребления населения, а также промышленного и хозяйственного; усложнение добычи нефти, газа и других видов естественного топлива снова выдвигает на передний план полное использование гидроэнергетического потенциала, включая потенциал не только крупных ГЭС, но и мелких на оросительных и сбросных каналах, что позволяет получить в составе ВХК дополнительный эффект в воде энергоресурсов на постоянно возобновляемом природном сырье — воде.

Для формирования развития ВХК удобнее всего использовать метод остаточных затрат суммированием их за расчетный период с учетом фактора времени и социального эффекта.

При методе остаточных затрат за каждый период времени (год) в целом по региону можно определить изменение народнохозяйственной эффективности, вклю-

чая доход АПК (чистый плюс доля налога с оборота) и социальный эффект за минусом ежегодно вкладываемых капиталовложений и текущих затрат. За каждый год остаточные затраты

$$B(t)=\left(\sum_{i=1}^{N}\Delta Э_i+\Delta Э_c+\Delta Э_{co}\right)-\sum_{i=1}^{N}K_{o_i}-\sum_{i=1}^{N}E_i, \quad (110)$$

где $\Delta Э_i$ — прибавка прибылей в отрасли i за год; $\Delta Э_c$ — увеличение социального эффекта; $\Delta Э_{co}$ — увеличение прибылей в создании отрасли; K_{o_i} — капиталовложения в производственные фонды в отрасли i за год; E_i — эксплуатационные затраты за год в отрасли i.

Использование указанного метода удобно со всех сторон: максимум производственного эффекта отрасли соответствует максимуму народнохозяйственной продукции; линейная (не дробная) форма позволяет применить линейное программирование; суммированием остаточных затрат по отдельным зонам и подрайонам определяется однозначно сумма всего эффекта водного фактора в регионе; общую эффективность инвариантных мероприятий за расчетный промежуток времени при этом можно определить с учетом показателей дисконтирования к началу расчетного периода:

$$B=\sum_{t=1}^{\tau}\sum_{f=1}^{F}\frac{\sum_{i=1}^{N}\overline{\Delta Э}_{tf}+\Delta Э_c+\Delta Э_{co}-\sum_{0}^{N}(K_{o_i}-E_i)-\Delta W Ц_в}{(1+n)^{t-1}}. \quad (111)$$

Поиск оптимума должен вестись на $B\longrightarrow\max$.

Важно при этом установить ограничения в целом по региону. Главным ограничением должны быть водные ресурсы:

$$\sum_{k=1}^{z}W_{\text{бв}_к}+\sum_{k=1}^{z}W_{\text{пот}_к}\leqslant[W_р], \quad (112)$$

где $W_{\text{бв}}$ — безвозвратное водопотребление; $[W_р]$ — располагаемые водные ресурсы; $W_{\text{пот}}$ — потери стока; к — участки реки $0\leqslant к\leqslant z$.

Следующим обязательным ограничением должно быть выполнение народнохозяйственных задач по производству важнейших видов продукции: хлопка, риса, фруктов, овощей и так далее как по региону в целом, так и по его отдельным зонам:

$$P_{ij}\geqslant[P_{ij}]. \quad (113)$$

Ресурсы используемых капиталовложений не должны превышать определенного уровня (на первом этапе это ограничение не вводится):

$$\sum_{i=1}^{n} K_i \leqslant [K]. \qquad (114)$$

Первоначально необходимо определить общие тенденции в бассейне с целью установления осредненных показателей эффективности использования воды в перспективе. Для этого на основе общих характеристик всего бассейна должна быть выявлена динамика изменения эффективности народного хозяйства в зависимости от времени и уровня водообеспеченности, по которой на уровне исчерпания установлена эффективность единицы воды ($П_в$), определенная по разнице суммы остаточных затрат без переустройства и переустройства по различным вариантам, где ΔK дает стоимость высвобождающегося кубического метра воды по капиталовложениям, а стоимость продуктивности воды будет определена из выражения

$$П_в = \frac{\sum_{i=1}^{n} [B_п(t) - B_п(O)]}{\Delta W}.$$

Сложность решения указанной проблемы состоит в необходимости увязки динамически связанных водных ресурсов в различных зонах и возможности многочисленной инвариантности не только техническими решениями, но и переборами в этих зонах и подзонах (районах, массивах) орошаемого земледелия.

Для этого необходимо рассмотреть деление на зоны и районы. Под зоной мы понимаем часть территории региона, характеризующуюся обособленностью или замкнутостью водного баланса. Это может быть участок реки, обеспеченный регулирующими водохранилищами, характеризующийся общностью притока естественных и формированием возвратных вод, либо бассейн одного крупного притока или группы их, где имеется возможность выделить и баланс зоны. В этом случае все водные балансы можно сформулировать в замкнутом виде и в их сумме.

Для каждой последующей части бассейна

$$W_{o_z} = W_{K_{z-1}}. \quad (115)$$

Наиболее важно деление на районы, массивы, отличающиеся осредненной общностью токсономических единиц, направленностью хозяйств, показателями использования воды.

Для каждого района должна быть выделена площадь потенциальных к орошению земель $<F_o>$ со средними показателями характерного бонитета $K_б$. За счет реконструкции площадей существующего орошения $F_р \leqslant F_o$ может быть получено количество воды $\Delta W_э$, которое может быть пущено на орошение новых земель здесь же в зоне или передано в другую зону (район).

Оптимальный для каждого района мелиоративный режим в сочетании с КПД системы и техники полива определяется по методике суммарных затрат с участием продукции и урожайности, но для реконструируемых земель.

После этого можно переходить к субоптимизации всей зоны. По результатам оптимизации района староорошаемых земель устанавливают требуемые капиталовложения (рис. 52). Далее оценивают осредненные показатели переустройства по зоне η_{c_z}, η_{mn_z} и т. д. (как среднеарифметический по массе), например

$$\eta_{c_{z_0}} = \frac{\Sigma \eta_{c_i} f_i}{F_{op_z}},$$

а капиталовложения — суммарные и средние по зоне ($\overline{K}_n$; ΔF_n).

На основании данных по потенциалу орошаемых новых земель ($<F_o>_z$) и их характеристики выбирают возможность использования высвобождающихся водных ресурсов в самой зоне на основе оптимизации остаточных затрат по ней:

$$V_t = (\Delta F_{op} + \Delta F_n)\, У_j f(K_б;\ Ц_j) + V_{oj} f\left(\frac{W_t}{W_n};\ t\right). \quad (116)$$

$$\overline{Э}_1 = f\left(\frac{V_t}{F_{op(t)}}\right). \quad (117)$$

$$\overline{K}_o = \overline{K}_{др} + \overline{K}_{op} + \overline{K}_{mn} + \overline{K}_б + \overline{K}_{пр}. \quad (118)$$

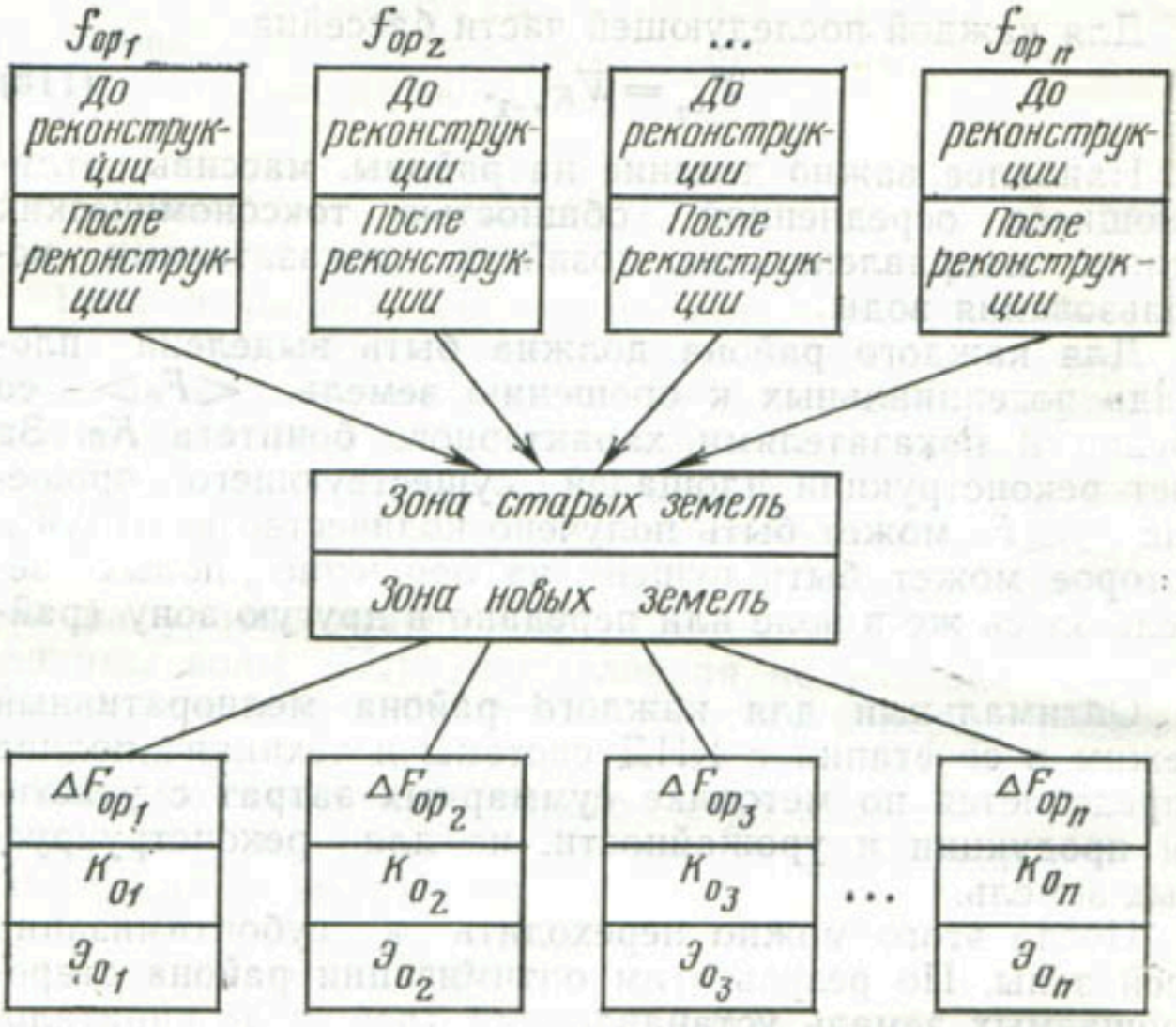


Рис. 52. Схема поиска оптимального варианта переустройства и ввода новых земель по зоне ВХК.

$$B = \overline{Э'}_1(F'_{op} + \Delta F_{op}) + Э_c - \overline{K}_o(n + a + n_э)\Delta F - \\ - \overline{K}_n(n + a + n_э)F_n(t) + \Delta W П_в - \Delta W_в \overline{Ц}_в, \qquad (119)$$

(если $\Delta W_в$ возвращается в ствол).

$$F'_{op} + \Delta F_{op} \leqslant \langle F_0 \rangle$$

где $У_t$ — производство продукции орошаемого земледелия в год t; $У_1 f(K_б; Ц_i)$ — увеличение валового производства сельскохозяйственной продукции под влиянием производства новых земель ΔF_{op} и переустройства $\Delta F_п$; $У_{oi} f\left(\frac{W_t}{W_п}; t\right)$ — изменение продуктивности орошенных земель под влиянием водообеспеченности и естественного тренда времени t; $\overline{Э_1}$ — удельная эффективность 1 га земель; $\overline{K}_o$ — удельное капиталовложение в орошение новых земель складывающихся из $K_{др}$, $K_{ор}$, $K_{тп}$, $K_б$, $K_{пр}$ соответственно капиталовложений на дренаж, оросительную сеть, технику полива, базу, на прочие объекты; n — коэффициент нормативной эффективности; a — амортизационные отчисления; $n_э$ — доля текущих затрат.

Перебор по вариантам орошения начинается с $\Delta F_{op}=0$. Если при этом такой вариант оказывается наивыгоднейшим, значит, высвобожденную воду использовать здесь экономически нецелесообразно, и она передается в другую зону. Если же этот вариант максимальный (показатели эффективности использования воды в блоке выгоднее, чем средние бассейновые) при $\Delta W \longrightarrow 0$, то воду желательно целиком использовать в блоке.

Здесь же определяют величину антропогенных вод, возвращающихся в ствол, в целом по блоку по осредненным данным η_{mn}, η_c и т. д.

При этом внутризональное использование воды сохраняется на современном уровне, а высвобождающиеся ресурсы можно использовать в зоне максимального эффекта новых земель.

Эта зона может быть найдена возможным перебором массивов нового орошения по максимуму выражения остаточных затрат:

$$B' = Э' F_{op} + Э_c - \overline{K}_0 (n + a + n_э) \Delta F \rightarrow \max. \quad (120)$$

В условиях дефицита водных ресурсов важнейшее значение как в целом в развитии ВХК, так и в оптимизации предлагаемой ее модели имеет переустройство орошаемых земель, с помощью которого должен быть достигнут перевод орошаемого земледелия с нынешнего до критериального уровня, который включает совершенствование оросительной сети, техники полива, а также создание оптимального мелиоративного режима и соответствующей работоспособности системы.

Эффект переустройства подразделяется на внутрихозяйственный и народнохозяйственный. Первый включает повышение КЗИ, снижение эксплуатационных расходов на содержание сети, рост производительности труда и механизмов, а также увеличение урожайности за счет улучшения мелиоративного состояния земель, выровненности рельефа и условий равномерности и обеспеченности увлажнения; второй проявляется в высвобождении водных ресурсов, в улучшении их качества и в создании возможности повышения занятости населения за счет ввода земель по высвобождающейся воде.

Существующая система планирования не способствует успешному ходу реконструкции оросительных систем. Сейчас ее показателями являются повышение во-

дообеспеченности, улучшение мелиоративного состояния и планировка без частичного выявления критериев их проведения и без учета того, насколько они соответствуют достижению критерия на данной территории. Поэтому необходимо установить один показатель — комплексную реконструкцию оросительных систем, а состав работ по ней для каждой зоны проводить дифференцированно в зависимости от критерия, выбранного по зависимости, предложенной автором. Исходя из дифференциации соответствующих этого переустройства, сопоставляя их частые эффекты и капиталовложения с общими, устанавливают необходимость полного или частичного (по очереди) комплексного переустройства.

Осуществление всех организационных и директивных мер должно сопровождаться усилением внимания и темпов реконструкции. Проведенные в САНИИРИ оптимизационные расчеты по описанной методике в целом по бассейнам рек и, в частности, по Узбекистану показали, что оптимальные темпы развития ВХК обеспечиваются при темпах комплексного переустройства 70... 80 тыс. га в год и при темпах ввода новых земель 90 тыс. га в год.

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ МЕЖДУ РЕГИОНАМИ

Приведенное выше распределение водных ресурсов между зонами основано на получении максимального народнохозяйственного эффекта в целом по бассейну. Однако, если на территории бассейна размещены земли не одной, а двух и более республик, необходимо обеспечить вододеление на перспективу исходя из равенства социально-экономических эффектов.

Показателем равенства условий социально-экономического развития будем считать одинаковый уровень роста национального дохода на одного трудоспособного работника.

По рекомендациям Т. С. Хачатурова, Р. И. Шнипера, Б. Н. Зыкина характеристикой региональной эффективности может быть национальный доход на душу населения или его эквивалент — чистый доход, сумма заработной платы, прибыли и доли налога с оборота на одного человека.

Пусть исходный уровень чистой продукции на одного человека в ряде районов i на период t_1 составляет

$$\frac{m_i(t_1)+\overline{m}_i(t_1)+V_i(t_1)}{l_{oi}} \approx \overline{НД}_{t_n}.$$

В результате развития ВХК водные ресурсы должны быть разделены так, чтобы при росте населения до l_{t_α} темпы роста национального дохода в каждой зоне были идентичны, то есть

$$\frac{V_{t_2} l_{t_1}}{V_{t_1} l_{t_2}} = \text{idem} = \frac{\overline{НД}_{t_2}}{\overline{НД}_{t_1}}. \qquad (121)$$

Отсюда

$$V_i(t_2) = a_1 V_i(t_1) \frac{l_{t_2}}{l_{t_1}}, \qquad (122)$$

где $A_1 = \text{idem}$ — коэффициент роста национального дохода по республикам.

Выразим V_i через продуктивность земель $П_i$:

$$V_i = П_i F_i;\ V_i(t_2) = П_i(t_1)(1+\beta) F_i(t_1) + П_{i_0}(1+\alpha \ln t)\,\Delta F_i, \qquad (123)$$

где β — коэффициент тренда продуктивности земель.

Из (122) и (123) получаем

$$П_i(t_1) F_i(t_1)\left[\frac{l_{t_2}}{l_{t_1}} a - (1+\beta)\right] = П_{i_0}(1+\alpha \ln t)\,\Delta F_i.$$

$$\Delta F_i \frac{П_i(t_1) F_i(t_1)\left[a \frac{l_{t_2}}{l_{t_1}} - (1+\beta)\right]}{П_{i_0}(1+\alpha \ln t)},$$

где t — период освоения новых земель; a — коэффициент по формуле (122).

При i участках ВХК имеем i уравнений, $i+1$, неизвестных.

Еще одно уравнение можно получить из увязки подлежащего к распределению объема располагаемых дополнительных водных ресурсов $\Delta W_р$ с приростами площадей орошения:

$$\Delta W_р = \sum_{i=1}^{N} \Delta F_i \frac{O_{р_i}(t_2) K_{в_i}}{\eta_{с_i} t_2}, \qquad (124)$$

где $K_{в_i}$ — коэффициент водопотребления новых земель.

Отсюда можно найти располагаемые приросты новых земель в различных республиках, исходя из равенства прироста национального дохода.

Указанный упрощенный прием можно использовать лишь при сохранении структуры посевов и удельных показателей динамики продуктивности земель, стабильными для каждой республики. При изменении этих показателей необходимо в соответствии с выражениями (121) и (122) строить индивидуальные модели с учетом закономерностей изменения продуктивности земель и их водообеспеченности и решать их последовательными итерациями.

ДАЛЬНЕЙШЕЕ РАЗВИТИЕ ОРОШАЕМОГО ЗЕМЛЕДЕЛИЯ ПРИ ДЕФИЦИТЕ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ

В результате реконструкции оросительных систем, совершенствования водопользования, увеличения располагаемых водных ресурсов определяется временной этап развития экономики на базе ВХК. Может оказаться, что, хотя все эти резервы на определенном этапе будут приведены в действие, дальнейшее развитие экономики и особенно сельского хозяйства должно будет как бы остановить темпы своего роста из-за полного исчерпания водных ресурсов, невозможности привода их извне и т. д.

Одним из приемов решения на какой-то период таких задач является переход на орошение сниженными нормами. Такой прием рекомендован и экономически обоснован для одной из рек Средней Азии по ожидаемой переброске сибирской воды.

Намечается на период до прихода сибирской воды пойти сознательно на некоторое снижение удельного оросительного водопотребления против нормального с тем, чтобы за счет этого добиться необходимого роста орошаемых земель. Обоснованием явилось известное положение о том, что между урожайностью по отношению к максимально возможной при данных условиях и степенью водообеспеченности существует криволинейная зависимость незначительно изменяющаяся в верхних ее пределах.

Для определения оптимального снижения норм водопотребления и отсюда допустимого роста орошаемых

площадей, при котором народнохозяйственный эффект будет максимальным, выполнены расчеты для узбекской части бассейна одной из рек Средней Азии по народнохозяйственному (прямому и косвенному) и суммарному эффекту, включающему, кроме прямого и косвенного, еще и социальный.

Учитывая, что основное направление орошаемого земледелия в узбекской части бассейна — хлопководство (64% существующей сельскохозяйственной продукции в районе), все расчеты проведены по хлопку.

В качестве исходной зависимости урожайности хлопка от водообеспеченности приняты данные Средазгипроводхлопка. Анализ многочисленных трудов наших и зарубежных исследователей показывает, что эта кривая в достаточной степени типична. Достоверность ее подтверждается тем, что она получена по данным различных опытных станций — Чинабадской, Хорезмской, Бухарской, Ошской, Ташкентской, Чардаринской, Каршинской, Голодностепской, СоюзНИХИ, Сурхандарьинской, ТашСХИ и имеет степень корреляции $n=0{,}95\pm0{,}01$. Переход от этих данных к норме брутто приведен в таблице 43.

Прогноз роста урожайности на три расчетные пятилетки принят по экстраполяции достигнутого темпа прироста урожайности на исходный период, где он составил в среднем 0,22 т/га с учетом рекомендации академика Н. П. Шатилова об асимптотическом снижении этого прироста до нуля по мере приближения к максимально достигнутому для данного уровня развития сельскохозяйственного производства. Так как таким

43. Зависимость урожайности от снижения нормы орошения (по хлопчатнику), т/га

O_{p_t} брутто / O_{p_0} брутто	1,0	0,95	0,90	0,85	0,80	0,75	0,70
O_{p_t} нетто	1,0	0,95	0,840	0,760	0,686	0,608	0,529
O_{p_0} нетто	1,0	0,97	0,935	0,876	0,810	0,742	0,670
Урожайность, т/га:							
Первая пятилетка	3,25	3,15	3,04	2,847	2,632	2,411	2,177
вторая »	3,40	3,30	3,18	2,980	2,750	2,520	2,278
третья »	3,50	3,39	3,28	3,066	2,835	5,600	2,345

44. **Изменение народнохозяйственного и социального эффекта в зависимости от снижения норм водопотребления** (вариант с ростом урожайности)

Показатель	Снижение водообеспеченности, %						
	0	5	10	15	20	25	30
Оросительная норма вегетационная нетто, $м^3/га$	6 850	6 313	5 776	5 239	4 702	4 165	3 628
Площадь орошаемых земель, тыс. га	1 923	2 024	2 137	2 262	2 403	2 564	2 747
В том числе площадь, занятая под хлопчатником, тыс. га	1 041	1 095	1 156	1 224	1 300	1 387	1 486
Рост площадей	1,0	1,052	1,111	1,176	1,249	1,333	1,42
Валовой сбор хлопка-сырца за год, тыс. т:							
в первую пятилетку	3 539	3 614	3 676	3 647	3 575	3 495	4 485
во вторую пятилетку	3 643	3 717	3 785	3 740	3 685	3 606	3 485
Стоимость валовой продукции сельского хозяйства, млн. р. за год:							
в первую пятилетку	2 034	2 077	2 113	2 098	2 056	2 010	1 946
во вторую пятилетку	2 095	2 137	2 176	2 151	2 119	2 074	2 003
Выработка на одного человека в год, р/чел.:							

первая пятилетка	2 277	2 327	2 366	2 350	[2 302	2 251	2 179
вторая »	2 205	2 249	2 290	2 264	2 230	2 183	2 103
Коэффициент изменения национального дохода:							
первая пятилетка	0,96	0,98	1,00	0,99	0,97	0,95	0,92
вторая »	0,968	0,968	0,968	0,968	0,968	0,968	0,968
Прибыль на 1 га, р/га:							
первая пятилетка	1 510	[1 440	[1 370	1 260	2 220	930	750
вторая »	1 580	1 500	1 420	1 310	1 170	[1 080	800
Народнохозяйственный эффект, млн. р.							
первая пятилетка	2 904	2 914	2 928	[2 850	2 667	2 384	2 000
вторая »	[3 038	3 036	3 034	2 963	[2 811	2 569	2 198
Социальный эффект, млн. р.:							
первая пятилетка	—173	—97	—11	13	97	157	200
вторая »	—324	—245	—172	—122	—54	0	43
Суммарный народнохозяйственный эффект с учетом социального, млн. р.:							
первая пятилетка	2 731	2 817	2 917	2 898	2 764	8 541	2 260
вторая »	2 714	2 791	2 862	2 841		2 969	2 241

45. Изменение валового и социального доходов

Показатель	Предшествующий год	Исходный год	Текущая пятилетка	При ограничении развития орошения		При снижении водопотребления по развитию орошения		При приходе сибирской воды
				первая перспектива	вторая перспектива	первая перспектива	вторая перспектива	
Площадь орошения, тыс. га	1,557	1,692	1,923	1,923	1,923	2,137	—	2,262
F_t/F_{t-1}	—	1,0867	1,136	1,0	1,0	1,111	—	1,058
Трудоспособное население, тыс.	730	765	822	893	950	893	—	1,06
l_t/l_{t-1}	—	1,048	1,0745	1,086	1,06	1,096	—	0,998
$(F_t/l_t) : (F_{t-1}/l_{t-1})$	—	1,036	1,057	0,920	0,943	1,0113	—	1,964
N_t/l_t	1,941	2,168	2,365	2,277	2,205	2,366	2,284	2,442
Продукция растениеводства, млн. р.	1416,9	1 659	1 944	2 034	2 095	2 113	[2 170	2 320
$(V_t/l_t) : (V_{t-1}/l_{t-1})$	—	1,116	1,09	0,96	0,96	1,0	0,966	1,03
$Э_c$, млн. р.	—	160	368	105	138	397	279	420
Народнохозяйственный эффект, млн. р.	1 822	2 217	2 692	2 904	3 038	2 928	3 040	3 251

уровнем является в настоящее время 5 т/га, принятый темп роста на эти пятилетки соответственно равен 0,17; 0,15 и 0,1 т/га.

Исходя из прогноза урожайности для двух пятилеток проведено определение наиболее целесообразного снижения водообеспеченности по народнохозяйственному эффекту, полученному от орошения.

Известно, что между прямой прибылью хозяйств и народнохозяйственным эффектом с учетом доли налога с оборота существует четкая зависимость. Для узбекской части бассейна автором на основе обработки результатов деятельности многоотраслевых хозяйств хлопкового направления за 1965—1976 гг. получена зависимость чистой прибыли и народнохозяйственного эффекта на 1 га площади севооборотных культур от всей урожайности ведущей культуры хлопчатника.

Максимум народнохозяйственного эффекта как по уровню второй пятилетки, так и третьей получается при снижении водообеспеченности на 10% максимума при 90%-ной обеспеченности. Этому соответствует и получение максимального валового сбора хлопка-сырца по территории узбекской части бассейна — соответственно 3676 тыс. т и 3785 тыс. т (табл. 44).

Проведем теперь тот же анализ на основе динамики показателей суммарного эффекта с учетом социальной его составляющей.

Зная прогноз трудоспособного населения по бассейну реки и соответствующие составляющие, приводим расчет социального эффекта (табл. 45). Анализ расчета показывает, что максимум суммарного эффекта лежит между 10 и 15%, ориентировочно 13...14%. Исходя из этого, принимаем, что на период пятой пятилетки допускается снижение водообеспеченности на 10%, а далее — еще на 5%.

Как отмечает К. И. Лапкин, повышение уровня доходов только тогда будет соответствовать действительному повышению социального уровня, когда рост доходов и платежеспособный спрос будут уравновешены степенью удовлетворения общества продуктами.

На основе полученных данных и приведенной методики проведены расчеты динамики показателей экономического развития узбекской части бассейна реки, результаты которого сведены в таблицу 45.

УКАЗАТЕЛЬ ЛИТЕРАТУРЫ

Аганбегян А. Г., Гранберг А. Г. Экономико-математический анализ межотраслевого баланса СССР. — М.: Мысль, 1968.— 286 с.

Бабкин В. И., Вуглинский В. С. Водный баланс речных бассейнов. — Л.: Гидрометеоиздат, 1982, с. 22...25.

Базилевич Н. И. Продуктивность, биогеохимия современной биосферы и функциональные модели экосистемы. — Почвоведение, 1979, № 2, с. 5...21.

Бурцев И. И., Мазин И. И., Черников А. А. Управление распределением водных ресурсов с помощью активных воздействий на атмосферные процессы. — В сб.: Проблемы развития водного хозяйства СССР. — М.: Наука, 1981, с. 17...27.

Вендров С. Л. Проблемы преобразования речных систем СССР. — Л.: Гидрометеоиздат, 1979, с. 9, 77...82.

Водохранилища мира. — М.: Наука, 1979.—209 с.

Волобуев В. Р. Введение в энергетику почвообразования. — М.: Наука, 1974, с. 16...102.

Долгов С. И. Закономерности поведения почвенной влаги. — В сб.: Биологические основы орошаемого земледелия. — М.: АН СССР, 1957, с. 617...647.

Дружинин И. П. Природа многолетних колебаний речного стока. — Новосибирск: Наука, 1976.—335 с.

Дружинин И. П., Хамьянова Н. В., Лобановская Ю. А. Прогноз гидрометеорологических элементов. — Новосибирск: Наука, 1977.—80 с.

Дунин-Барковский Л. В. Физико-географические основы ирригации. — М.: Наука, 1976, с. 122...146.

Духовный В. А., Баклушин М. Б., Томин Е. Д., Серебренников Ф. В. Горизонтальный дренаж орошаемых земель. — М.: Колос, 1979.—255 с.

Духовный В. А. К экономической оценке проектов орошения. — Гидротехника и мелиорация, 1979, № 10...11, 1980, № 1.

Духовный В. А. Ирригационные комплексы на новых землях Средней Азии. — Ташкент: Узбекистан, 1983, с. 100...174.

Кац Д. М. Влияние орошения на грунтовые воды. — М.: Колос, 1976, с. 12...29.

Киселева И. К. Регулирование водносолевого режима почв Узбекистана. — Ташкент: 1973, с. 39...144.

Ковда В. А., Егоров В. В. Почвенно-мелиоративные предпосылки применения дренажа для борьбы с засолением орошаемых земель. — В сб.: Применение дренажа при освоении засоленных земель. — М.: АН СССР, 1958, с. 18...30.

Космачев К. П. Географическая экспертиза (Методологические аспекты). — Новосибирск: Наука, 1981, с. 41...43.
Костяков А. Н. Перспективы мелиорации в СССР. — М.: Сельхозгиз, 1961, с. 89...134, 402...407.
Куприянов В. В. Гидрогеологические аспекты урбанизации. — Л.: Гидрометеоиздат, 1977, с. 18...56.
Лактаев Н. Т. Полив хлопчатника. — М.: Колос, с. 26...29.
Легостаев В. М. Еще раз о глубине дренажа. — Хлопководство, 1972, № 9, с. 33...36.
Летунов П. А. Некоторые закономерности передвижения воды и солей в орошаемых почвах и значение травопольной системы земледелия. — М.: АН СССР, 1955, с. 134...242.
Львович М. И. Мировые водные ресурсы и их будущее. — М.: Мысль, 1974.—448 с.
Меднис М. П. Режим орошения и густота стояния хлопчатника. — Ташкент: ФАН, 1973.—164 с.
Потери стока р. Амударьи на испарение на участке Амударьинской — Чатлы. — Труды САНИИРИ, 1974, вып. 142, с. 67...78.
Минашина Н. Г. Мелиорация засоленных почв. — М.: Колос, 1978.
Мирцхулава Ц. Е. Надежность гидромелиоративных сооружений. — М.: Колос, 1974, с. 53...104.
Натальчук М. Ф. Внутрихозяйственная эксплуатация оросительных систем. — М.: Колос, 1969, с. 60...68.
Озиранский С. Л. Научные основы формирования отрасли «водное хозяйство». — В сб.: Использование водных ресурсов. — М.: Наука, 1981. с. 229...245.
Побережский Л. Н. Водный баланс зоны аэрации в условиях орошения. — Л.: Гидрометеоиздат, 1977, с. 51...63.
Решеткина Н. М., Рачинский А. А. О проблемах и принципах освоения целинных земель. — Гидротехника и мелиорация, 1964, № 8.
Скалабан В. Д. Принципы производственной характеристики земель по условиям тепло- и влагообеспеченности. — Почвоведение, 1981, № 9, с. 65...76.
Федоренко Н. П. Приближенное решение задач оптимального управления. — М.: Наука, 1978.
Шашко Д. И., Скалабан В. Д. Оценка условий роста культур по совокупному коэффициенту продуктивности. — Вестник сельскохозяйственной науки, 1982, № 1, с. 31...38.
Шабанов В. В. Применение стохастических моделей для оценки изменения условий при перераспределении речного стока. — Тезисы докладов Всесоюзного совещания по методам моделирования природных условий. — Новосибирск: 1982.
Шейнкин Г. Ю. Техника и организация орошения в Таджикистане. — Душанбе: Ирфон, 1970, с. 95...116.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение 3

Глава I. **Структура и особенности водохозяйственных комплексов в зоне орошения** 5

Формирование отрасли «Водное хозяйство» и ее структура 6

Водохозяйственные комплексы и два уровня их иерархии 12

Функциональная структура ВХК 15

Глава II. **Орошение — основа планомерного развития водохозяйственных комплексов в аридной зоне** . . 26

Орошаемое земледелие и перспектива его развития 26

Социальное значение развития орошения . . 32

Развитие водохозяйственного комплекса на базе орошаемого земледелия и его роль в росте экономики аридных зон 35

Формирование ВХК бассейна реки Сырдарьи 43

Увязка развития ВХК с региональным развитием 49

Пути развития территориального уровня ВХК на основе орошаемого земледелия 59

Орошение новых земель 67

Глава III. **Изменение природных условий под влиянием орошения и разработка методов направленного управления ими** 79

Антропогенные изменения речного стока и их особенности в зоне орошения 79

Взаимодействие орошения с природными условиями в аридной зоне 84

Изменение климатических условий при орошении 92

Взаимовлияние гидрологического режима рек и территориальных бассейновых циклов . . . 130

Выбор методов управления природными процессами 13

Суммарное изменение речного стока под влиянием орошения 139

Глава IV. **Водопотребление орошаемых земель и пути его снижения** 146

Водопотребление и мелиоративные режимы . . 146

Антифильтрационные мероприятия и мелиоративный режимы 160

Назначение способа и техники полива . . . 166

Оптимизация мелиоративных режимов . . . 176

Эксплуатация оросительных систем 181
Глава V. **Управление водохозяйственным комплексом** . . 192
Недостатки существующей системы управления 192
Централизованное управление ВХК и его структура 194
Водные ресурсы и их прогнозирование . . . 205
«Планирование работы ВХК» 211
Создание математической модели функционирования 213
Корректировка водопотребления 221
Глава VI. **Перспективное планирование ВХК** 224
Перспектива водных ресурсов и основные факторы, их определяющие 224
Генсхемы развития водных ресурсов . . . 226
Разработка оптимального направления развития сельскохозяйственного производства в бассейне 229
Оптимизация развития ВХК на перспективу . . 234
Распределение водных ресурсов между регионами 244
Дальнейшее развитие орошаемого земледелия при дефиците водных ресурсов 246
Указатель литературы 253

Виктор Абрамович Духовный

ВОДОХОЗЯЙСТВЕННЫЙ КОМПЛЕКС В ЗОНЕ ОРОШЕНИЯ. ФОРМИРОВАНИЕ, РАЗВИТИЕ.

Зав. редакцией *Г. М. Попова*
Редактор *Н. М. Щербакова*
Художник *К. Д. Юрченко*
Художественный редактор *Б. К. Дормидонтов*
Технический редактор *В. А. Боброва*
Корректоры *М. И. Быкеев, К. В. Шин, В. В. Тумарева*

ИБ № 3652

Сдано в набор 18.07.84. Подписано к печати 16.10.84. Т-19772. Формат 84×108¹/₃₂. Бумага тип. № 1. Гарнитура литературная. Печать высокая. Усл. печ. л. 13,44. Усл. кр.-отт. 13,44. Уч.-изд. л. 14,52. Изд. № 155. Тираж 5500 экз. Заказ № 256. Цена 95 коп.

Ордена Трудового Красного Знамени издательство «Колос», 107807, ГСП, Москва, Б-53, ул. Садовая-Спасская, 18.

Московская типография № 11 Союзполиграфпрома при Государственном комитете СССР по делам издательств, полиграфии и книжной торговли. Москва, 113105, Нагатинская ул., д. 1.