В.А. ДУХОВНЫЙ

ИРРИГАЦИОННЫЕ КОМПЛЕКСЫ НА НОВЫХ ЗЕМЛЯХ СРЕДНЕЙ АЗИИ

631.6
Д-85

В. А. ДУХОВНЫЙ

ИРРИГАЦИОННЫЕ КОМПЛЕКСЫ НА НОВЫХ ЗЕМЛЯХ СРЕДНЕЙ АЗИИ

64345

ТАШКЕНТ
«УЗБЕКИСТАН»
1983

65.9(2)32
Д 85

Рецензент — доктор
геолого-минералогических наук
Н. М. РЕШЕТКИНА

Д 85 **Духовный В. А.**
Ирригационные комплексы на новых землях Средней Азии.— Т.: Узбекистан, 1983, 184 с.

В настоящей книге на основе обобщения опыта комплексного освоения крупных массивов земель нового орошения в Средней Азии (Голодная, Каршинская, Джизакская степи, зона Каракумского канала и низовья Амударьи) сформулировано понятие об ирригационных комплексах. Впервые в мелиоративной и экономической науке проблема формирования комплексов рассмотрена во всей ее широте и многообразии, включая организационные, экономические, экологические и социальные аспекты.

В работе показано, что инженерной основой комплексов является создание совершенных оросительных систем, в связи с этим разработаны принципы выбора ее составляющих и конструктивных элементов, исходя из оптимизации мелиоративных режимов: вида и параметров дренажа, техники полива, параметров оросительной сети.

Большое внимание уделено технико-экономической оценке эффективности комплекса.

Монография рассчитана на инженеров, мелиораторов, социологов и организаторов производства, работающих в проектировании, строительстве и освоении крупных массивов орошения.

ББК 65.9(2)32—5
333

733—82
Гос. б-ка УзССР
им. А. Навои.

Д 40305 334 / М 351 (04) 82 122—82 3802040100

© Издательство «УЗБЕКИСТАН», 1982 г.

ВВЕДЕНИЕ

Орошение в Средней Азии с древнейших времен неразрывно связано с земледелием. Оно определяло жизнь, быт и благополучие народов, населявших плодородные оазисы.

Восхищение великим искусством мастеров воды древних времен, построивших монументальные сооружения и каналы, мы находим у Квинта Курция и у Арриана, у Геродота и китайского путешественника Чжень Цяна за много лет до начала христианского летосчисления.

«Условия климата и почвы, особенно огромные пространства пустыни, тянущейся от Сахары через Аравию, Персию, Индию и Татарию до возвышенностей Азиатского плоскогорья, сделали систему искусственного орошения при помощи каналов и водных сооружений основой восточного земледелия», писал К. Маркс о значении ирригации для этих территорий (1).

Советские археологи и историки М. Е. Массон, Б. В. Андрианов, В. А. Шишкин, Я. Г. Гуламов, Г. Н. Лисицына определяют возраст орошения в Средней Азии с IV тысячелетия до нашей эры, а расцвет его — I—II тысячелетие до нашей эры — совпадает с развитием ирригации в Египте, Месопотамии, Индии.

Опыт древнейшего земледелия, приумноженный за многие тысячелетия, получил огромное применение и развитие за годы Советской власти. Можно сказать, что за последние пять десятилетий орошение в нашей стране прошло путь, равный всем прошедшим пяти тысячелетиям. И это справедливо не только с точки зрения масштабов работ, но и гигантского технического прогресса, который характерен для этой важнейшей отрасли. Как сказочными казались еще сто лет тому назад проекты космических путешествий, ставших былью в наше время, так и немыслимыми представлялись осуществленные нашими поколениями планы орошения пустынь, создания плотин, строительства гидроэлектростанций.

Особенно широких масштабов достигла мелиорация в нашей стране после майского (1966 г.) Пленума ЦК КПСС, открыв-

шего дорогу этой новой отрасли в народном хозяйстве. С 1966 г. площади орошенных земель в Средней Азии почти удвоились. Ежегодные темпы роста орошаемых земель достигли 160 тыс. га, а всего за десятую пятилетку — 800 тыс. га. В одиннадцатой пятилетке намечено оросить около 0,8 млн. га.

Огромные темпы роста орошаемых площадей в этой зоне дадут возможность при продолжающемся приросте сельского населения (80% прироста сельских районов страны приходится на долю республик Средней Азии и Казахстана) постоянно повышать национальный доход республики.

В то же время для этой зоны, как и для большинства стран аридного пояса, отмечается исчерпание ресурсов естественно плодородных и естественно дренированных земель, характерных для зон древнего оазисного орошения. Поэтому в дальнейшем планируется орошение высокорасположенных земель, территорий, подверженных засолению или засоленных. Так, в СССР из намеченных к орошению в бассейне Аральского моря 2,0 млн. га только 0,3 тыс. га являются внутриоазисными перелогами, а остальные 1,7 млн. га представлены засоленными землями, песчаными пустынями и склонами подгорных долин и адыров.

Аналогичное положение и в других странах мира. В АРЕ, например, намечается освоить за десятилетие 0,6 млн. га земель, из которых более $^3/_4$ площадей сложны для освоения. В Сирии к таким сложным объектам относится массив Мескене. Аналогичных примеров можно привести множество. Анализ имеющихся материалов позволяет с уверенностью сказать, что более 60% засушливых территорий мира, подлежащих орошению, являются пустынными или полупустынными районами, сложными в природном отношении для освоения.

Если раньше на плодородных землях оазисов орошение сводилось только к ирригационным работам, все остальное выполнялось силами и средствами хозяйств и населения, то теперь собственно орошение осуществляется в пустынных и полупустынных зонах в комплексе с орошаемым земледелием. Созданные для этих целей народнохозяйственные комплексы наряду с покрытием дефицита воды должны выполнять определенные мероприятия, направленные на освоение неблагоприятных по отдельным признакам земель, повышение продуктивности и обеспечение их нарастающего плодородия, а также на всестороннее развитие экономики района, связанное с ростом орошаемого земледелия. Создание таких комплексов требует больших долговременных капиталовложений при обязательном обеспечении их высокой эффективности.

Ирригационные комплексы, которые наряду с интенсивным расширением орошаемых площадей на пустынных землях во-

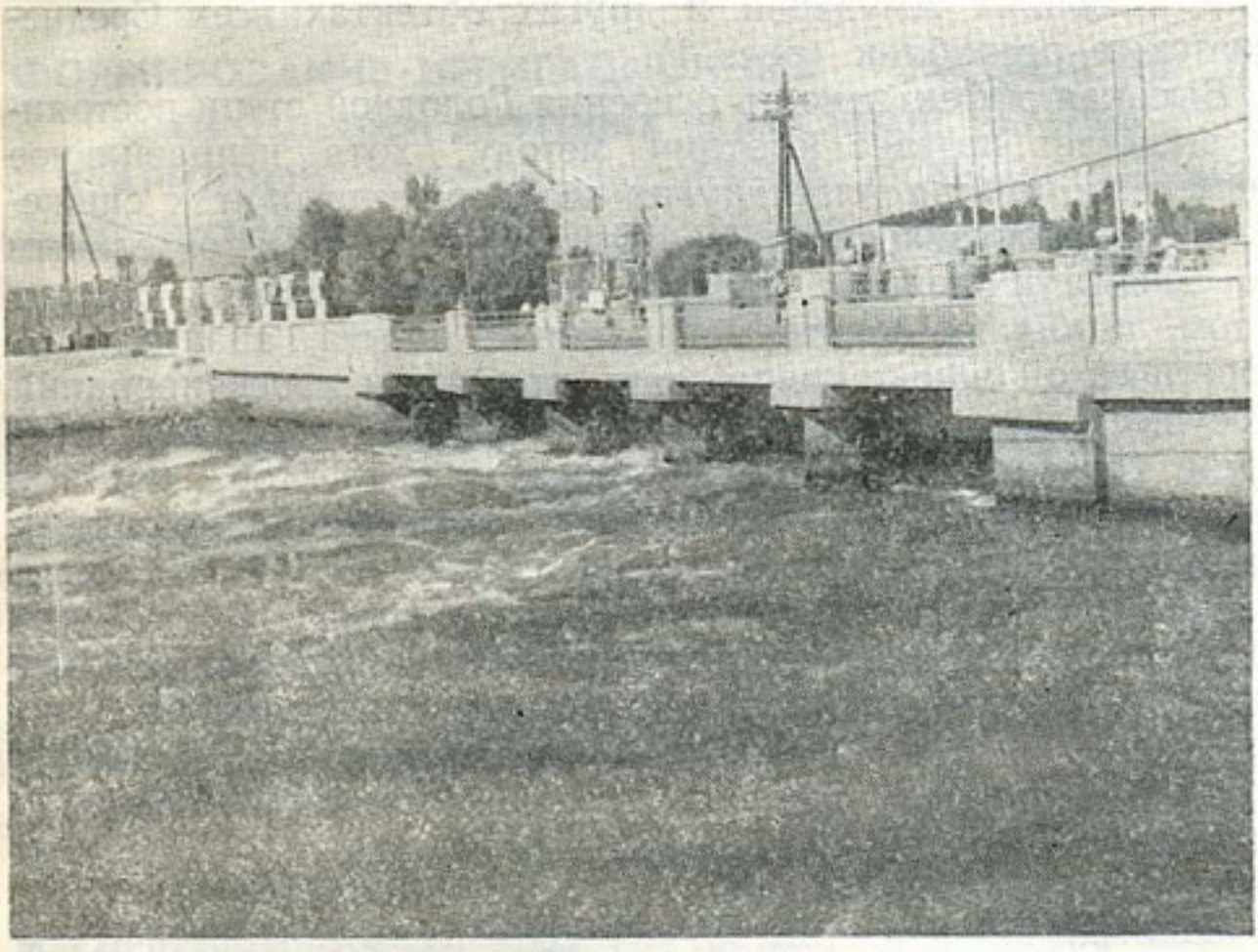

Рис. 1. Голодностепский канал.

влекают в сферу охвата огромные природные ресурсы: сотни тысяч гектаров земель, миллиарды кубометров воды, а также значительные людские ресурсы — сотни тысяч человек, оказывают огромное влияние как на естественную природную, так и на социально-экономическую обстановку не только самих массивов нового орошения, но и связанных с ними прилегающих регионов. Для обеспечения долговечности и надежности освоения этих массивов необходимо соблюдать такую направленность и координацию работ, чтобы влияние орошения было только положительным, не допуская отрицательного эффекта ни на естественную, ни на экономическую обстановку.

Узбекистан является родиной комплексного строительства в нашей стране, да, пожалуй, и за рубежом. Орошение и освоение новой зоны Голодной степи, начатое в 1956 г., послужило школой, лабораторией и первым опытным полигоном, на котором разрабатывался, апробировался и внедрялся комплексный метод орошения и освоения земель, нашедший затем такое широкое применение в СССР. Опыт Голодной степи, освоение 350-тысячного массива которой завершается в ближайшие годы, был применен затем в Джизакской, Сурхан-

Шерабадской, Каршинской степях, зоне Каракумского канала, низовьях Амударьи и других объектах всех Среднеазиатских республик (рис. 1).

Высокая эффективность освоения Голодной степи постоянно вызывает интерес к этому методу, хотя неправильное применение его на ряде других объектов приводит к снижению народнохозяйственной эффективности и к отдельным серьезным упущениям. Задача настоящей работы состоит в том, чтобы на основе накопленного опыта, анализа его, теоретической оценки разработать принципы проектирования и осуществления крупных массивов земель в аридной зоне путем создания высокоэффективных комплексов, которые способствовали бы направленному улучшению природных и социально-экономических условий.

При этом мы исходили из указания товарища Л. И. Брежнева: «...нужны не всякие объединения, а те, которые действительно поднимают на новую ступень социалистическое обобществление производства и труда, базируются на новейших достижениях науки, техники и технологии и обеспечивают наивысшую производительность и дают максимум дешевой продукции» (2).

Монография представляет из себя первое теоретическое обобщение опыта комплексного освоения крупных массивов земель в аридной зоне, позволяющее планировать и осуществлять эти крупномасштабные работы с максимальным народнохозяйственным эффектом.

Автор выражает глубокую благодарность сотрудникам САНИИРИ В. А. Орлову, П. Д. Умарову, канд. физ.-мат. н. В. Б. Виленчику, Р. И. Кадыровой, Н. И. Кутаренко, С. А. Петуниной за помощь в оформлении и подготовке материалов, а также канд. техн. н. Х. И. Якубову, канд. техн. н. А. А. Кадырову, д-ру геол.-минер. н. Н. М. Решеткиной, д-ру с.-х. н. Н. Г. Минашиной за ценные замечания, сделанные при просмотре рукописи.

Глава I

ФОРМИРОВАНИЕ ИРРИГАЦИОННЫХ КОМПЛЕКСОВ ПРИ ОРОШЕНИИ КРУПНЫХ МАССИВОВ ЗЕМЕЛЬ В АРИДНОЙ ЗОНЕ И ИХ СВЯЗЬ С ПРИРОДНЫМИ И ЭКОНОМИЧЕСКИМИ УСЛОВИЯМИ ТЕРРИТОРИИ

ОРОСИТЕЛЬНЫЕ РАБОТЫ В АРИДНОЙ ЗОНЕ

Орошение земель аридных и полуаридных территорий коренным образом отличается от мелиоративных работ в других районах страны не только по своим методам, но и характером влияния на экономику регионов, особенностями связи естественных условий, привлекаемыми природными ресурсами и экономическими отношениями.

Мелиоративные мероприятия в зоне осушения и в зоне недостаточного увлажнения в значительной степени не изменяют направление ведения сельского хозяйства и всей экономики регионов. Выращиваемые культуры остаются теми же, но за счет мелиорации земель интенсифицируется сельскохозяйственное производство, урожаи увеличиваются от 50 до 200—250 %. Основной эффект от мелиорации проявляется в резком уменьшении зависимости хозяйств от колебаний климатических факторов и улучшении почвенных условий (аэрация, дренирование и т. д.), т. е. человек, освобождая сельское хозяйство от полной зависимости от природы, в остальном сохраняет характер ведения хозяйства, делает его более интенсивным, производительным, а зачастую и качественно лучшим.

На мелиорированных землях урожайность различных культур в 1,4—2,8 раза больше, чем в среднем по всей зоне (22).

В процессе осуществления мелиоративных мероприятий в различных зонах СССР, кроме аридной (Украина, Центральная часть РСФСР, Литва), показатели эффективности сельскохозяйственного производства резко не меняются, они улучшаются в среднем от 1,5 до 3 раз. Удельные капитальные затраты на орошение колеблются от 1,0 до 3,5 тыс. руб./га. Остается постоянным и количество занятых трудовых ресурсов, механизмов и т. д.— они используются более эффективно. Работа мелиоративных сооружений во многом зависит от колебаний осадков, температуры, режима загрузки, общих характеристик, оросительной нормы, нормы осушения и дренажных расходов. В отдельные годы на осушительных систе-

мах требуется дополнительное увлажнение, хотя в другие периоды нужды в орошении нет. В результате создаются ситуации, когда, например, огромный парк дождевальной техники может в отдельные сезоны, а то и годы простаивать.

При орошении в аридной зоне характер взаимодействия с природной и экономической обстановкой в корне меняется. Богарное земледелие здесь является экстенсивным и характеризуется низкой продуктивностью. При переходе на орошаемое земледелие меняется направленность сельскохозяйственного производства — вместо кочевого овцеводства, животноводства и богарного зерноводства развивается хлопководство, садоводство, виноградарство, рисосеяние, производство высокоурожайных кормовых культур и на основе их птицеводство, молочное и мясное животноводство. Во много раз возрастают нагрузки на работников, меняется не только объем необходимых механизмов, но и их типы, что видно из табл. 1, в которой приведены сравнительные показатели богарного земледелия (зернового) в аридной зоне (бассейн Аральского моря) и орошаемого хлопкового направления.

Таблица 1

Сравнительные показатели богарного и орошаемого земледелия в аридной зоне

Показатели	Удельные величины на гектар при земледелии	
	богарном	орошаемом
Продуктивность сельскохозяйственного производства, руб.	30—150	800—1200
Затраты труда в растениеводстве, чел.-дней	8—15	60—125
Потребные основные фонды (кроме ирригации), руб.	160—250	1000—1200
Потребность механизмов (при машинном орошении), руб.	85—96	280—390
Расходы энергии, л. с.	1,06	4,02
Потребность в работниках, чел.	0,02÷0,03	0,16÷0,18
Потребность в жилье, м²	0,5÷0,8	4,5÷5,0

Таким образом, привлечение при орошении дополнительного природного ресурса — воды позволяет создать высокоинтенсивное сельскохозяйственное производство и вызывает необходимость резкого изменения характера и развития всех производительных сил.

Если в зоне орошаемого земледелия развивается в пустынных районах отгонное животноводство, необходимо, кроме орошения, создать огромные производственные фонды, по-

строить жилье и соответствующие культурно-бытовые объекты для нормальной жизни работников хозяйств и их семей, оснастить механизмами и запасами материальных ресурсов, соорудить ремонтные базы, склады, площадки, проложить дороги и коммуникации для подачи воды, электроэнергии, газа, тепла, протянуть линии связи и т. д.

Орошение, даже вместо богарного земледелия, требует увеличения основных производственных фондов в 4—8 раз, затрат механизмов — в 3—4 раза, рабочей силы и жилья—соответственно в 6—9 раз. Кроме того, в связи с изменением характера и направления сельскохозяйственного развития меняется вид обслуживающих и обрабатывающих предприятий. Так, если ранее потребность в них была крайне незначительна (при пастбищном животноводстве равна нулю, а при богарном земледелии состояла только в зернохранении, переработке, строительстве элеваторов и зернохранилищ), то при орошении многоотраслевое сельскохозяйственное производство привлекает внимание к новым районам перерабатывающих и снабжающих органов, которым выгоднее иметь базы снабжения и переработки непосредственно вблизи зон сельскохозяйственного производства. Поэтому в зоне нового орошения должны сооружаться базы сельхозтехники, базы поставки удобрений, хлопкоочистительные и консервные заводы, холодильники, мясо-молочные комбинаты, коконосушилки и много других сопутствующих предприятий.

Кроме того, развитие сельского хозяйства, обрабатывающей промышленности, создание новых густонаселенных районов немыслимо без развития торговли, связи, бытового обслуживания, без создания административных органов.

Если учесть еще значительные работы по орошению земель (основа этого развития), улучшению естественного плодородия — дренаж, окультуривание и промывку земель, то становится понятен тот большой объем строительства, который предстоит выполнить для успешного освоения земель и создания необходимых экономических и социальных связей. К этому следует добавить создание базы строительства индустрии и промстройматериалов, которая должна обеспечить требуемые темпы и объемы работ по строительству.

Орошение в данном случае является тем определяющим фактором развития, который диктует темпы, объемы, состав работ и направление развития осваиваемых регионов на перспективу.

В отличие от зоны неустойчивого увлажнения и осушения характер работы мелиоративной системы определяется параметрами искусственного орошения и в некоторой степени зависит от изменения осадков и температуры (в пределах 10—15 %).

Поэтому мелиоративные фонды отличаются стабильностью использования и напряженным характером работы. Они создают возможность получения высокой продуктивности наряду с другими производительными силами и фондами, которые здесь должны быть развиты и созданы.

ОПЫТ ОРГАНИЗАЦИИ МЕЛИОРАТИВНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА И ОСВОЕНИЯ ЗЕМЕЛЬ В СССР И ЗА РУБЕЖОМ

В СССР за годы Советской власти был накоплен большой опыт водохозяйственного строительства. Главным районом этих работ была Средняя Азия. Здесь до 1956 г. был осуществлен огромный объем работ, позволивший оснастить основные ирригационные системы инженерными водозаборами и средствами управления водой, довести орошаемую площадь до 3,8 млн. га, укрупнить поливные участки и ввести систему орошения на староорошаемых землях, резко повысив при этом их водообеспеченность.

При этом в освоении и орошении новых земель наметилась определенная тенденция. Состояла она в том, что водохозяйственными организациями выполнялись работы по строительству магистральных, межхозяйственных и хозяйственных каналов, крупных водоприемников и коллекторов, частично осуществлялось переустройство старой сети, однако вопросы сельскохозяйственного освоения оставались вне их поля зрения. Освоением земель занимались органы Министерства сельского хозяйства и в первую очередь сами хозяйства. Между тем для полного освоения новых земель, для их ирригационной подготовки необходимо выполнить целый ряд других работ и построить объекты, обеспечивающие успешное освоение земель. До 1956 г. в водном хозяйстве страны орошение и освоение земель осуществлялось раздельным методом, при котором весь необходимый объем работ выполнялся различными организациями, ведомствами и службами, не объединенными единым руководством, планом и финансированием.

Такой метод работ формировался в то время, когда водохозяйственное строительство осуществлялось на землях благоприятных с мелиоративной точки зрения, в районах, имеющих большие трудовые ресурсы (северная и южная части Ферганской долины, Самаркандский оазис и т. д.). Здесь задача мелиоративных органов состояла в том, чтобы в условиях существующих хозяйств, с избытком обеспеченных рабочей силой, за счет подачи дополнительной воды или орошения новых земель дать возможность этим хозяйствам резко увеличить сельскохозяйственное производство. Зачастую хозяйствам приходилось лишь заботиться об орошении новых

участков и о приспособлении их к изменению структуры посевов, увеличению площадей и т. д. Даже в этих условиях отмечался отрыв орошения земель от строительства мелиоративных каналов, освоения земель — от устройства оросительной сети. Поэтому в Узбекистане, например, площадь ирригационно-подготовленных земель к 1959 г. составляла 3180 тыс. га, а фактически орошалось на 600 тыс. га меньше.

Несостоятельность раздельного метода проявлялась на землях, мелиоративно неблагополучных. Например, в старой зоне Голодной степи темпы орошения постоянно опережали темпы освоения земель из-за недостатка дренажа и всего объема мелиоративного улучшения земель. Это привело в конечном счете к исключению из сельскохозяйственного оборота около 50 тыс. га орошаемых площадей.

Применение ударного народного способа строительства водохозяйственных объектов, обеспечивающего повышение водообеспеченности, дало значительный эффект. Но были случаи, когда за счет привлечения огромного количества людей удавалось создать водные артерии как концентрированный объект работ, а затем из-за невозможности охватить таким же способом большие объемы работ на значительных площадях, подготовить другие объекты для успешного освоения, фактическое орошение земель затягивалось на многие годы. Таков пример освоения Тугайных веток в казахской части Голодной степи, земель Центральной Ферганы и др.

Между тем перспективы орошения, намеченные партией и правительством, предусматривали развитие орошения в пустынных и полупустынных районах, отличающихся мелиоративным неблагополучием, склонностью земель к засолению или первичной засоленностью, а также необжитостью массивов, подлежащих освоению, и необходимостью создания объектов, которые обеспечили бы приемлемые условия жизни и деятельности населения будущих орошаемых площадей.

Таким образом, задачи освоения новых земель потребовали изменения форм и принципов водохозяйственного строительства в нашей стране. В то же время созданная материально-техническая база и возросшая мощь Советского государства позволили перейти на новую ступень организации водохозяйственного строительства.

Новая зона Голодной степи, орошение и освоение которой осуществлялось на основе постановления ЦК КПСС и Совета Министров СССР от 6 августа 1956 г.*, представлялась именно таким объектом, где следовало отработать, проверить

---

* Правда, 1956, 7 августа.

и внедрить в практику принципы нового, так называемого комплексного метода строительства.

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

В процессе работ по орошению новой зоны Голодной степи новые организационные принципы постоянно совершенствовались и развивались. Динамика совершенствования комплексного метода детально описана в работах автора. Отметим только ряд особенностей этого процесса.

В противовес существовавшим обычаям орошение земель начинали не сразу. Сначала затрачивали часть выделенных капитальных вложений на создание мощной базы в виде индустрии, поселков с тем, чтобы за счет получаемых в достаточном количестве строительных материалов и конструкций 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.

После осуществления всех этих работ, начиная с 1961 г., развернулись в широких масштабах ирригационно-мелиоративная подготовка земель, строительство совхозов и организация сельскохозяйственного производства на осваиваемых землях.

Создание мощной организации позволило с начала строительства освоить 2 млрд. 442 млн. руб. капитальных вложений, в том числе 1 млрд. 812,8 млн. руб. строительно-монтажных работ, и ввести в действие основных фондов 2 млрд. 134 млн. руб. За этот период мелиоративно подготовлено 310 тыс. га земель, сдано в эксплуатацию 2 млн. 881,8 тыс. м² жилья, общеобразовательных школ на 37,0 тыс. мест, детских учреждений на 14,4 тыс. мест, 97 производственно-хозяйственных центров (ПХЦ), 1260 бригадных станков, ремонтно-механических мастерских в совхозах на 6331 условный ремонт, животноводческих помещений на 15 358 скотомест, 5 хлопкоочистительных заводов, 29 заготовительных хлопкопунктов и т. д.

Из предусмотренных проектом 46 совхозов сельскохозяйственная деятельность в 1961 г. была начата в четырех, в 1965 г.— в 10-ти, а в 1979 г.— уже в 57-ми совхозах, из которых передано в постоянную эксплуатацию Министерству совхозов УзССР 22, Министерству сельского хозяйства СССР— один и готовится к передаче этим же Министерствам к концу 1982 г. пять совхозов.

Положительный опыт комплексного орошения и освоения крупного необжитого массива на примере Голодной степи имеет общесоюзное значение. Принципиально новые организационные и технические решения по мелиоративному строительству в комплексе с мероприятиями по хозяйственному освоению земель, апробированные в Голодной степи, находят широкое применение и дадут большой экономический эффект при освоении 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 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.

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

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

Переход к комплексному строительству в Голодной степи, а затем и в других регионах, происходил также постепенно,

первоначально охватывая только все виды строительства и стройиндустрию, затем включая в свою сферу освоение земель, временную эксплуатацию объектов, проектирование и т. д.

В осуществлении комплексного метода до настоящего времени имеется целый ряд недостатков, что, естественно, снижает народнохозяйственный эффект. Но это нельзя относить к недостаткам метода, так как зачастую в этом играют роль факторы субъективного характера (волевой подход к отдельным вопросам, невыполнение плана, недостаточный уровень руководства), проявление местнических тенденций.

В то же время теоретические разработки комплексного метода находятся еще в начальном состоянии и отсюда порой попытки «на ощупь» найти правильное решение задач освоения новых земель.

Только в последнее время, по прошествии 15—20 лет после начала производственной разработки комплексного метода непосредственно в Голодной степи, а затем и на других массивах, появился ряд работ в основном узбекских экономистов, пытающихся осмыслить и подвести теоретическую базу экономической целесообразности такого принципиального подхода (Акрамов Э., Усманов К., Каюмов Ф., и др.), однако эти работы почти не затрагивают организационных, технических, экологических и других важнейших аспектов комплекса.

В зарубежной науке вопросам освоения орошаемых массивов уделяется много внимания в последние 10 лет. Примечательно, что по предложению руководства ряда стран этот вопрос в 1969 г. был подвергнут широкому обсуждению на VII Всемирном конгрессе МКИДа* в Мехико, на специальной сессии IX Международного конгресса МКИДа в Москве в 1975 г. и на I Региональной конференции МКИДа стран Азии и Африки в 1976 г. в Ташкенте.

Среди этих работ обращают на себя внимание положения, высказанные Г. Попандопулосом, по обоснованию организационных принципов освоения новых орошаемых земель.

Г. Попандопулос (54) предлагает рассматривать комплекс задач освоения земель при орошении по трем компонентам: технической части, включающей только инженерные средства и сооружения; сельскохозяйственному освоению, связанному с эффективным использованием земель хозяйствами и основанному на успешном применении технических средств; социально-экономическому развитию, формирующемуся при техническом и сельскохозяйственном освоении.

---

* Всемирный конгресс Международной комиссии по ирригации и дренажу.

Имеющиеся материалы об освоении крупных массивов земель за рубежом свидетельствуют о сложности этого процесса и попытках в различных странах структурно оформить единство целей, средств и работ в пределах одной организации.

В США под руководством Бюро мелиорации осуществляется крупномасштабное орошение новых земель в 27 западных штатах страны, причем в качестве партнера выступают созданные полуавтономные внеправительственные организации будущих водопользователей — ирригационные округа, которые выполняют функции непосредственного заказчика и координатора освоения. В состав этих округов входят представители водопользователей, а также представители правительства штатов и банков. Аналогичные организации создаются в Мексике и Турции.

Складывающиеся за рубежом тенденции к комплексному подходу в корне отличаются от наших принципов. Созданные комплексные организации типа Бюро мелиорации, TVA (Tenesy Valley Authority) в США, Galloja Board на Цейлоне, Damodar Valley Board, Nangla Bhakra Board в Индии, WAPDA в Пакистане, River Murrey commission в Австралии и целый ряд других объединяют изыскания, проектирование, функции заказчика и в некоторых случаях подрядчика для комплексного использования какого-либо одного ресурса, в большинстве случаев водных ресурсов бассейна. Развитие орошения частично этими организациями предусматривается в виде схем, иногда выполняются головные магистральные системы питания, иногда заключаются договора на подряд и создаются специальные объединения водопотребителей, как в США — водные округа под эгидой Бюро мелиорации США, но ни одно из этих объединений не рассматривает в комплексе проблему развития региона.

Более того, для формирования необходимых экономических связей и других производственных отношений планируется растягивание сроков освоения вновь орошаемых земель с тем, чтобы факторы капиталистического рынка — «спрос-предложение-потребление» определили сами по себе создание хозяйств, различных по типам, направленности, посреднических, вспомогательных и перерабатывающих фирм, эксплуатационных и других корпораций. Так, Флойд Домини (4) приводит пример орошения новых земель в Северной Дакоте, в системе Гаррисон Дивершн Юнит, где массив площадью 101,2 тыс. га намечено освоить в течение 26-ти лет, а почти полного использования земель достигли только на 21—22-й год. Ежегодный прирост земель при этом постепенно нарастает от 1,6 тыс. га в первый год освоения до 8—

10 тыс. га на 6—10-й год, а затем также постепенно темпы снижаются по мере освоения наиболее тяжелых в природном отношении земель. Аналогичным образом на ирригационной системе Шоушон в течение 9 лет были полностью освоены земли площадью около 45 тыс. га. Коэффициент земельного использования в первый год составил 20—26, во второй — 40—49 и только на пятый год—85 %. В Турции объединение «Топрексу» предусматривает также постепенное наращивание коэффициента земельного использования вновь орошаемых земель от 15 % в первый год до 90 % на 10-й год освоения. При этом не исключено, а, наоборот, закономерно, что в процессе этого «самоформирования» отдельные фирмы, фермы и другие единицы капиталистической экономики потерпят банкротство.

Такой подход, естественно, противоречит всей сути нашего социалистического строя и, бесспорно, не может быть приемлем.

ПРИРОДНО-ПРОИЗВОДСТВЕННЫЕ ИРРИГАЦИОННЫЕ КОМПЛЕКСЫ И ИХ СТРУКТУРА

Территориально-производственные комплексы (Урало-Кузнецкий комбинат, Приднепровский промышленный комплекс) возникли в годы первых пятилеток. Позже они получили развитие в основном в виде энергопромышленных комплексов: Волжская ГЭС с машиностроительными, химическими и другими предприятиями, Саратовский энергопромышленный комплекс, включая Балаковский промышленный район (химия, машиностроение), наконец, Братский и Южно-Таджикский энергопромышленные районы, включая Нурекскую ГЭС, Регарский алюминиевый завод и т. д.

Впервые в СССР понятие «комплекс», введенное Н. Н. Колосовским, раскрывается как «взаимообусловленное экономическое сочетание предприятий в одной экономической точке или в целом районе, при котором достигается определенный экономический эффект за счет удачного планового подбора предприятий в соответствии с природными и экономическими условиями района, с его транспортным и экономико-географическим положением» и обусловливается «наличием характерного производственного цикла, массового производственного процесса, который создает в определенном смысле закономерные сочетания по линии «сырье-труд-энергия-готовая продукция». Причем из восьми возможных циклов, как стержней экономики, определен «гидромелиоративный индустриально-аграрный цикл, включающий в себя гидромелиоративные сооружения с сопутствующей энергетической базой, сельское хозяйство орошаемого типа с широким распространением

технических культур и перерабатывающей промышленности» (7).

Развивая это направление, В. А. Лычагин, А. Е. Пробст, С. Л. Озиранский рассматривают территориально-производственные комплексы как сочетание предприятий с целью кооперирования и комплексирования по связям и по экономико-географическим условиям.

С. Л. Озиранский, например, дает формулировку «энергопромышленного комплекса, как пространственной формы объединения предприятий, возникающих благодаря одному или нескольким крупным гидроисточникам и их инфраструктуре» (37).

В результате гидроэнергетических исследований в нашей стране в последние годы появился ряд работ, в которых рассматривается создание водохозяйственных комплексов (ВХК) на основе строительства водохранилищ, причем гидроэнергетика определена как отрасль-индикатор, а сельскохозяйственное использование, в том числе и ирригация, как сопутствующие отрасли. В этих разработках рассматривают ВХК как комплекс с основной «осью притяжения» — рекой и бассейном со всеми связанными с ними отраслями водопотребления и водоиспользования, ибо вода является для этих массивов важнейшим ресурсом.

6Н345

В отличие от вышеуказанных формулировок А. А. Пирмухамедов определяет территориально-производственный комплекс (ТПК) как часть экономического района страны, воплощающего совокупность объектов, взаимосвязанных по использованию сырья, ресурсов и необходимых для их функционирования сооружений, а также обычную для них систему поселений.

Рассматриваемый нами природно-производственный ирригационный комплекс (ППИК) значительно отличается от ТПК (Колосовский Н. Н. и др.) и является не только объединением предприятий или частью экономического района, воплощающего совокупность объектов, использующих природные ресурсы, но и сочетанием природных условий и экономических формаций при активном вовлечении природных ресурсов в комплекс.

Отличительными особенностями ППИК следует считать:

общность территории и единство схемы водного питания;

единые технологические связи, обусловленные задачами максимального ускорения развития интенсивного орошаемого земледелия;

комплексное использование природных ресурсов при максимальной эффективности водного фактора и направленном

Научно-техническая библиотека

изменении природных условий в сторону повышения их потенциальной продуктивности;

высокая капиталоемкость наряду с высокой производительностью труда;

единство планирования, строительства и преобладающей части финансирования, единых эксплуатационных органов.

Действительно, если мы рассмотрим, например, пять видов комплексов, предложенных Н. Н. Колосовским, то увидим, что природные ресурсы в этих комплексах, хотя и в значительной мере участвуют в качестве используемого ресурса (вода во втором виде, земля в третьем виде, климат и почвы в четвертом виде), но они не оказывают активного влияния на другие природные ресурсы и являются в определенной степени инертными и не изменяющимися. В рассматриваемом же нами комплексе основной ресурс — вода не только сам воздействует на всю экономику, определяя основные изменения в ней, но активно влияет на другие природные ресурсы, динамично изменяя их характеристики и подвергаясь изменению от взаимодействия 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 не как территориально-производственный, в котором территория, природная обстановка являются как бы стабильным фоном и граничными условиями, но и как природно-производственный, в котором активно участвуют природные факторы, в первую очередь вода.

Как уже говорилось, основной идеей ППИК является комплексное использование природных ресурсов, естественных (земля, климатические факторы) и привлеченных (вода), в сочетании с оптимальным развитием региона для получения максимального народнохозяйственного эффекта при минимальном расходовании главного природного ресурса — воды.

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

В связи с этим структура ППИК (рис. 2) формируется из исходных природных ресурсов; воды, неорошенных земель, климатических условий: государственных ресурсов; финансов, материалов, удобрений, механизмов; людских ресурсов. В результате образуется природно-производственный ирригационный комплекс, в составе которого выделяются природная и производственная части. Однако природная часть комплекса —

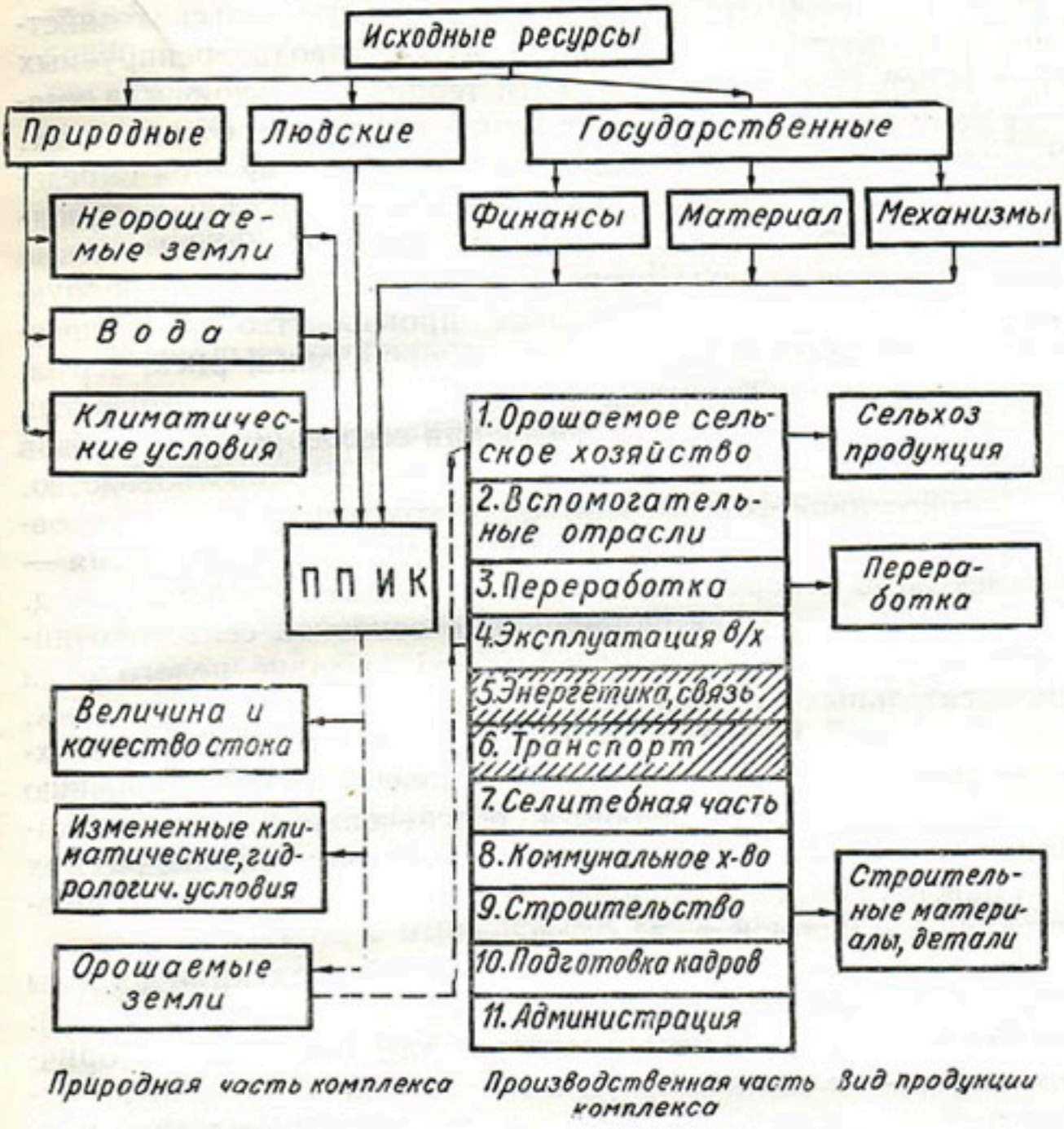

Рис. 2. Схема природно-производственного комплекса. Заштрихованная площадь — элементы, переходящие в ТПК.

это не его исходные составляющие условия, а измененные и преобразованные при помощи инженерных сооружений, мероприятий и воды.

В результате вмешательства в сложные природные процессы создаются орошаемые земли, изменяются в той или иной степени климатические, гидрогеологические и другие условия, образуются возвратные (коллекторно-дренажные) воды, а также изменяются величина и качество стока рек. Под орошаемыми землями подразумеваются преобразованные с помощью системы инженерных сооружений, устройств и мероприятий (каналы, дрены, планировка, техника полива), а также мелиоративных мероприятий (окультуривание, промывка и т. д.) ранее неорошенные земли, которые обеспечиваются водой

в размерах, необходимых для выращивания сельскохозяйственных культур, мелиоративных нужд, отвода дренируемых вод и солей. Таким образом, хотя территориально земли остаются теми же, по качеству они резко отличаются от исходных. С другой стороны, в составе комплекса складывается определенная производственная деятельность, создаются производственные подразделения, устанавливаются экономические связи. Здесь, в первую очередь, следует выделить основную сферу (1) — 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 специализированные животноводческие предприятия — комплексы по откорму молодняка, выращиванию птиц и т. д. Для нормального функционирования основной сельскохозяйственной части комплекса необходимо создание целого ряда вспомогательных служб (2): ремонтно-эксплуатационных, снабженческих и транспортных предприятий «Сельхозтехники» по организации ремонта и техническому обслуживанию машин и механизмов хозяйств, обеспечению 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 (3): хлопкозаводы и хлопкозаготпункты 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 (4), включая формирование водных ресурсов, их распределение, содержание межхозяйственных сооружений, поддержание и техническое обслуживание внутрихозяйственных сооружений, мелиоративное состояние земель и т. д. Для этого в составе комплекса должны быть созданы соответствующие водохозяйственные и эксплуатационные органы энергетики и связи (5), транспорта и дорог (6). Размещение всего потребного для нормального функционирования производств персонала, их семей, обеспечение культурно-массового и коммунально-бытового их обслуживания требует создания крупных селитебных центров (7), поселков и городов. Для эксплуатации всех слож-

нейших коммунальных (тепловых, водопроводных, канализационных и газовых) магистралей и сооружений необходимо организовать свои эксплуатационные органы (8). Наконец, нужно создать специальную отрасль, которая бы построила и сдала в эксплуатацию объекты всех вышеперечисленных назначений — строительство и строительную индустрию (9), 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 (10), административных органов, включая администрацию комплекса, юридических и советских органов (11).

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 на основе территориального признака, подчиненного 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, совпадение 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 комплексов (рис. 2, п. 1, 2, 3, 10) или становятся ими после перехода к периоду стабилизации, когда комплексная строительно-освоенческая организация завершает освоение массива и передает его соответствующим органам республиканских министерств (рис. 2, п. 1, 4, 5, 6, 8, 9). При этом мы рассматриваем ППИК как переходной временный формирующийся комплекс, после стабилизации выделяющий из себя главную часть — АПК регионального плана и части других отраслевых ТПК.

Развитие теории систем и их применение к решению задач народного хозяйства привело и к рассмотрению орошения в качестве системы. Одним из широкоизвестных примеров такого системного подхода к орошению является работа чешских инженеров С. Корсуня и Я. Янача (27), в которой прослеживается формирующее влияние орошения на часть природных, экономических и производственных связей. Однако орошение, как было показано нами ранее, не изменяет направления и характера хозяйств, а только интенсифицирует их, поэтому данная модель в наших условиях неприемлема. Более того, указанную модель авторы рекомендуют для решения задач оптимизации сельскохозяйственного производства со смешанными условиями орошения и богарного земледелия, установления оптимальных взаимоотношений между ними и т. д.

При орошении крупных массивов земель в аридной зоне задача ставится по-иному. На основе предварительных проектных проработок и выбора наиболее эффективных массивов для орошения земель устанавливается необходимость освоения массивов пустынных и полупустынных земель площадью F_0, при этом гарантируется достаточность потребных для этого ресурсов воды W, капиталовложений K. Освоение массивов позволяет более продуктивно использовать людские ресурсы в данном регионе $Л_1$ и привлечь, кроме того, рабочую силу из перенаселенных близлежащих районов $Л_2$, где использование трудовых ресурсов затруднено. Все эти исходные элементы по мере освоения земель формируют орошаемые земли площадью $F_к$ с новой продуктивностью $П_к > П_0$, где $П_0$ — продуктивность земель исходного массива при условии орошения; $П_к$ — конечная продуктивность этих земель (улучшенных мелиоративными мероприятиями), и остальную часть природного комплекса, а также производственную часть комплекса, состоящую из соответствующих производств, дающих продукцию и прибыль, и селитебной части комплекса.

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

$$I = f\Big[\sum_{o}^{n} V_{ti};\ \sum_{o}^{m} F_{tj};\ (W_{nt} - W_{ot});\ \sum_{o}^{т}\sum_{o}^{n} K_{ti};\Lambda_{ti};\ \sum_{o}^{n}(O_{\Psi ti} + O_{\delta ti})\Big], \quad (1)$$

$$V_{ti} = f\Big(\sum_{o}^{m} П_{tj} \cdot F_{tj}\Big), \quad П_{oj} \leqslant П_t \leqslant П_к. \quad (2)$$

При этом между исходными составляющими в зависимости от темпов ввода орошаемых земель, сроков освоения и подготовительного периода до оптимального формирования ППИК существуют постоянные вертикальные и горизонтальные связи, регулирующие систему в период динамического становления и развития. Одновременно происходит и процесс качественного нарастания продуктивности земель, снижения расходов (удельных) воды и т. д.

Закон планомерного, пропорционального развития социалистического хозяйства определяет не только планомерное развитие отраслей народного хозяйства, но и пропорциональное развитие территориальных комплексов, основанных на специализированном аграрно-промышленном производстве. Это проявляется в том, что между всеми производственными и экономическими составляющими комплекса имеются четкие организационные и экономические связи, определяющие их взаимную увязку (рис. 3). Если учесть, что главным природным

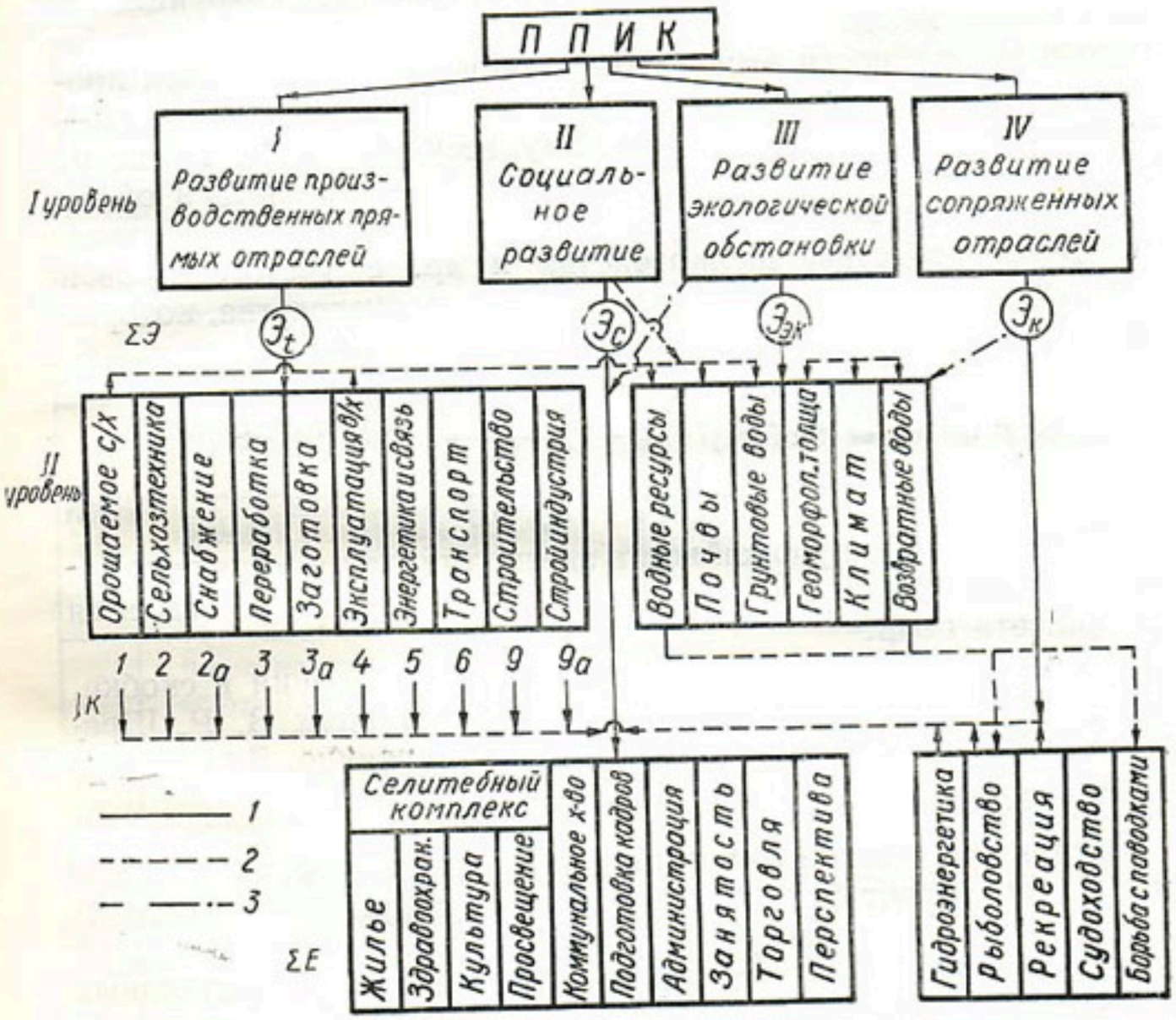

Рис. 3. Схема связей составляющих комплекса, его сфер:

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

определителем орошаемого земледелия является площадь орошаемых земель, то от этого основного показателя могут быть определены объемы сельскохозяйственного производства и эксплуатации водохозяйственных объектов.

Потребная электроэнергия и транспорт — функции 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 потребного жилья.

Объем потребного жилья и непроизводственных объектов является функцией объема всех видов производства и соответственно производительности труда.

Основополагающим фрагментом комплекса является созданная на основе предыдущих работ и капитальных вложений мощность сельскохозяйственного производства, определяемая вводом орошаемых земель. В зависимости от коэффициента земельного использования (КЗИ), состава культур севооборота и урожайности этих культур определяется валовая продукция основной части сельскохозяйственного производства— земледелия, а затем по удельному весу кормовых культур, тутовника, садов, прогнозу их развития—динамика и объем продукции всех отраслей сельскохозяйственного производства — садоводства, шелководства и др. с учетом валовой продукции всего сельскохозяйственного производства, которая может быть определена следующим образом:

$$V_{t_1} = \left[\sum_{o}^{N} \cdot F_{tj} \cdot \mathcal{U}_{tj} \cdot \bar{Y}_{tj}\left(1 - \frac{\Delta W_{nt}{}^{\lambda}}{W_{no}}\right)\right](\Lambda_{t_1} \cdot a_1 + d_{t_1} \cdot b_1 + \gamma_{t_1} \cdot C_1). \quad (3)$$

Потенциальная урожайность здесь устанавливается по методике, приведенной ниже, в зависимости от метода освоения и бонитета почв.

Водный фактор учитывается в виде выражения в скобке, полученного нами на основе обработки данных В. Р. Шредера (50) по хлопку и Н. С. Петинова по пшенице. Для хлопка λ определен в $\frac{3}{2}$, для пшеницы в 8, 7.

Структура многочлена принята исходя из того, что каждая продукция может быть выражена как функция трех составляющих — людских ресурсов, материальных и основных фондов. Выражение матричных коэффициентов для различных отраслей, участвующих в комплексе, может быть определено методом множественной регрессии, используя данные наблюдений предыдущих лет.

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

Определение объемов всех соответствующих направлений производства приводится в табл. 2. На основе приведенных зависимостей определяются потребные объемы производственных и непроизводственных направлений, затем объемов потребных капиталовложений.

Таблица 2

Определение объема составляющих комплекса

Индекс	Направление производства или сферы обслуживания комплекса	Формула объёма производства
1	Объём сельхозпроизводства	V_1
2	Обслуживающее производство	$V_{t_2} = V_{t_1}(\Lambda_{t_2} a_2 + d_{t_2} b_2 + \gamma_{t_2} c_2) n_2$
3	Переработка сельхозпродукции	$V_{t_3} = \sum_0^n V_{t_i}(\Lambda_{t_3} a_3 + d_{t_3} b_3 + \gamma_{t_3} c_3) n_3$
4	Эксплуатация водного хозяйства	$V_{t_4} = W_{n_t} \bar{u}_6 (\Lambda_{t_4} a_4 + d_{t_4} b_4 + \gamma_{t_4} c_4)$
5	Энергетика и связь	$V_{t_5} = \sum_0^N V_{t_i} n_{5i} (\Lambda_{t_5} a_5 + d_{t_5} b_5 + \gamma_{t_5} c_5)$
6	Транспорт и дороги	$V_{t_6} = \sum_0^N V_{t_i} n_{6i} (n_{t_6} a_6 + d_{t_6} b_6 \gamma_6 c_6)$
7	Жильё и селитебный комплекс	$V_{t_7} = \sum_0^N \frac{V_{t_i}}{n_{p_i}} (\bar{f}_1 \mathcal{Ж}_1 s_1 + \bar{f}_2 \mathcal{Ж}_2 s_2 g_{c_2} + \bar{f}_3 \mathcal{Ж}_3 s_3 g_{c_3}) h_7$
8	Коммунально – бытовое обслуживание	$V_{t_8} = n_8 V_{i_7}$
9	Объем строительства	$V_{i_9} = \sum_0^N V_{t_i} K_i$

После подсчета всех составляющих делается ряд их последовательных корректировок:

первая — объема сельскохозяйственного производства по возможному уровню водообеспеченности;

вторая — объема жилья, электроэнергии и транспорта — по объему уточненных отраслей;

третья — по всем отраслям, исходя из степени комплексности строительства, степени удовлетворенности жильем и степени материально-технического обеспечения.

Учитывая, что ввод основных фондов зависит от выделенных капиталовложений, их фактического использования и других управляемых воздействий, этот показатель может быть запрогнозирован довольно четко. Аналогично учитывается и влияние степени материально-технического обеспечения.

При указанных прогнозах валовое производство сельскохозяйственной продукции является наиболее динамичным, так как оно зависит не только от комплектности строительства, но и от нарастания продуктивности земли в процессе орошения. Этот процесс нами проанализирован в главе IV.

Исходя из планируемых темпов ввода орошаемых земель и определенного им объема сельскохозяйственного производства, можно определить необходимые темпы роста мощностей всех смежных (или совокупных) отраслей и производств, которые обеспечат это планомерное и пропорциональное развитие. Понятно, что наращивание мощностей орошаемых земель происходит определенными единичными объемами-площадями бригад, агроучастков более или менее близкими к наклонной прямой, а мощности совокупных отраслей и производств — более ступенчаты в соответствии с единичными мощностями этих предприятий (хлопкозаводы, например, по переработке 40 тыс. тонн хлопка-сырца, базы минеральных удобрений по 1 тыс. тонн, заготпункты — по 10—16 тыс. тонн каждый и т. д.). Поэтому задача состоит в том, чтобы максимально приблизить проектные осваиваемые мощности создаваемых предприятий к суммарному производству сельхозпродукции или переработке, как это показано на рис. 4.

Объем строительного производства на каждый год определяется по объему необходимого ввода основных фондов к началу года и сроку строительства объектов. В то же время необходимо иметь в виду, что в реальной обстановке при планировании освоения и развития ППИК существует ряд ограничений: по объему выделяемых капиталовложений и соответственно материальных ресурсов и лимитов финансирования, наличию людей и объемов возможности водопотребления для разных нужд.

Понятно, что соотношение объемов валового производства различных отраслей и взаимосвязи между ними в процессе формирования ППИК изменяются. Это видно на примере формирования новой зоны освоения Голодной степи.

Основные причины:

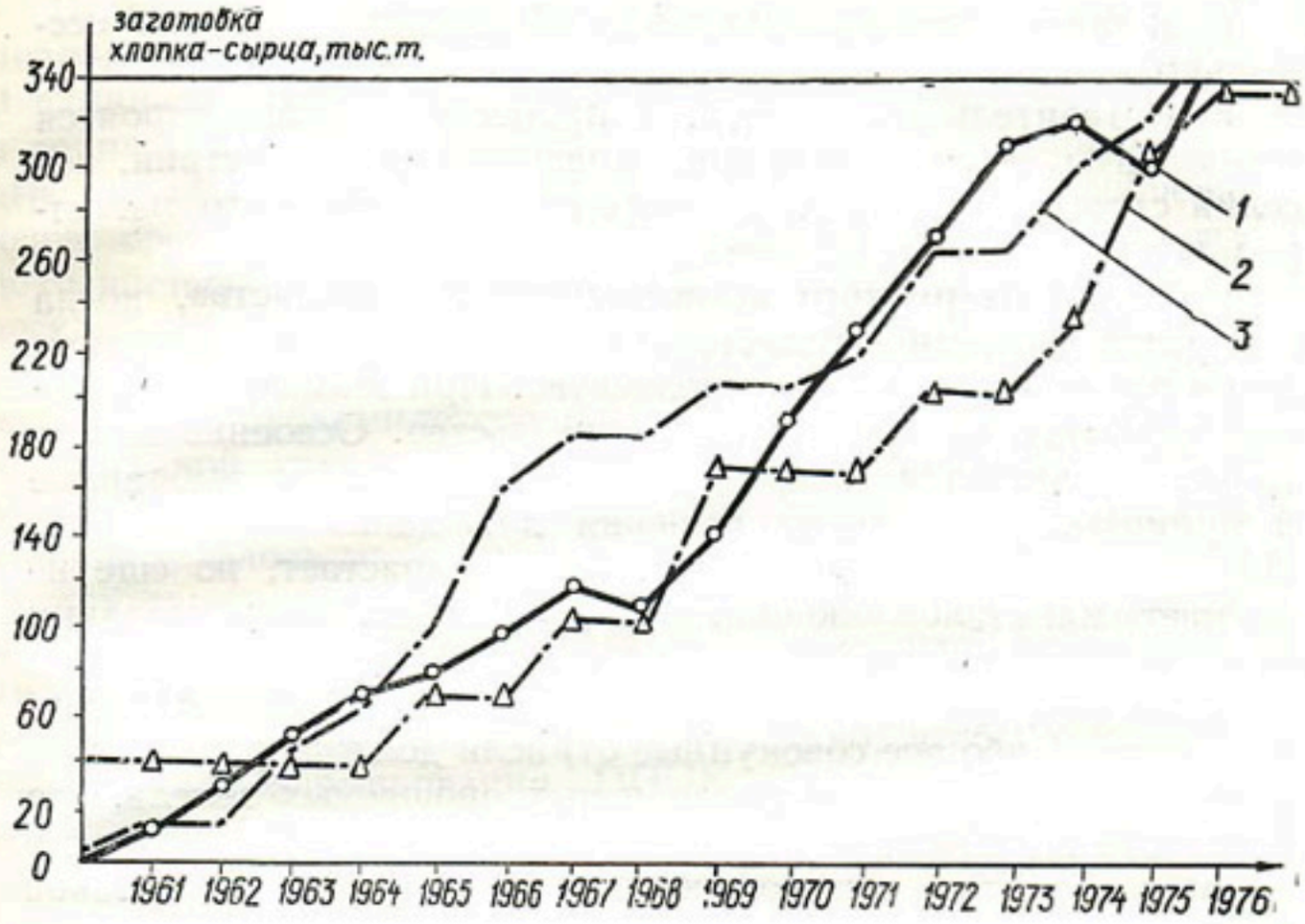

Рис. 4. Сравнительный рост мощности хлопкозаготовительных предприятий и объемов заготовок хлопка-сырца в Голодной степи, тыс. т в год: *1* — хлопкозаготовки; *2* — мощность хлопковых пунктов; *3* — мощность хлопковых заводов.

потребность опережающего строительства, создание базы стройиндустрии и магистральных коммуникаций;

постепенное наращивание в процессе освоения урожайности и валового производства основных сельскохозяйственных культур и несколько запаздывающее развитие садоводства, животноводства и других отраслей;

возможность использования на отдельных начальных этапах вспомогательных производств (баз транспорта, сельхозтехники, перерабатывающих предприятий), прилегающих районов, территорий и т. д.

Очень важен на отдельных этапах развития, особенно к концу освоения, прогноз несовпадения потребностей в жилье, транспорте, учебных заведениях различных составляющих комплекса во времени. При формировании ППИК он может дать большой эффект. Так, в первые годы превалирует потребность в жилье, транспорте, строительных производствах, эксплуатационных службах, а в дальнейшем увеличивается потребность перерабатывающих и вспомогательных производств.

При формировании комплекса необходимо выделить несколько этапов:

подготовительный период, в процессе которого строятся новые базы и коммуникации, предприятия индустрии, поселки строителей и т. д., а также объекты основного магистрального питания;

период развернутого комплексного строительства, когда быстрыми темпами осуществляется строительство совхозов, затем развивается сельское хозяйство. При этом превалирующей отраслью еще является строительство. Освоение земель только развивается, в процессе его проверяются выбранные и принятые технические решения для данной территории. Народнохозяйственный эффект хотя и нарастает, но еще не окупает капиталовложений, затрачиваемых при создании комплекса на текущий год.

В этот период строятся однородные объекты единым заданным темпом, ибо все совокупные отрасли должны развиваться пропорционально темпу ввода новых орошаемых земель, что позволяет в этот период организовать поточное строительство на всех объектах с помощью специализированных потоков с определенным ритмом работ;

период развернутого освоения, когда сельскохозяйственное производство на вновь осваиваемых землях становится доминирующим и окупает по народнохозяйственному эффекту вкладываемые затраты, налажен четкий ритм строительства и освоения земель, основной задачей становится повышение эффективности основного сельскохозяйственного производства и всех вспомогательных отраслей. Если в предыдущий период развиваются только ведущие направления растениеводства, дающие главный эффект, например хлопководство, рисоводство, то в последующий период настает необходимость многоотраслевого сельскохозяйственного развития комплекса с точки зрения возможности хозяйств (начало плодоношения молодых садов, повышение удельного веса трав в севообороте для создания базы кормов) и необходимости более полного удовлетворения нужд населения региона в собственных продуктах питания;

период завершения формирования комплекса, когда доводится до конца строительство всех предусмотренных генеральной схемой вспомогательных, перерабатывающих и других сопутствующих элементов, проверяются и выявляются допущенные в процессе создания комплекса отступления, недостатки проекта, устраняется и обеспечивается в дальнейшем налаженный четкий ход работы всей производственной части комплекса.

Исходя из указанных тенденций, после завершения трех периодов из состава ППИК выделяются в организационном и административном плане отраслевые составляющие, ППИК в территориальном масштабе трансформируются в районные агропромышленные комплексы на уровне ареальных, включающие орошаемое земледелие, переработку, эксплуатацию водохозяйственных объектов, специализированные животноводческие и садоводческие предприятия, объекты баз, транспорта и связи. Поэтому целесообразно производить передачу агропромышленных субкомплексов на районном уровне из ведения комплексной строительно-освоенческой организации только после их полного завершения, а не отдельными совхозами, как это делалось до сих пор. В результате неподготовленности эксплуатационных органов именно на таком уровне переданные хозяйства, будучи оторваны от сложившихся экономических связей, сфер обслуживания, начинают снижать свои производственные показатели. Поэтому важно, чтобы к моменту завершения формирования ППИК республиканские министерства и ведомства создали свои областные и районные

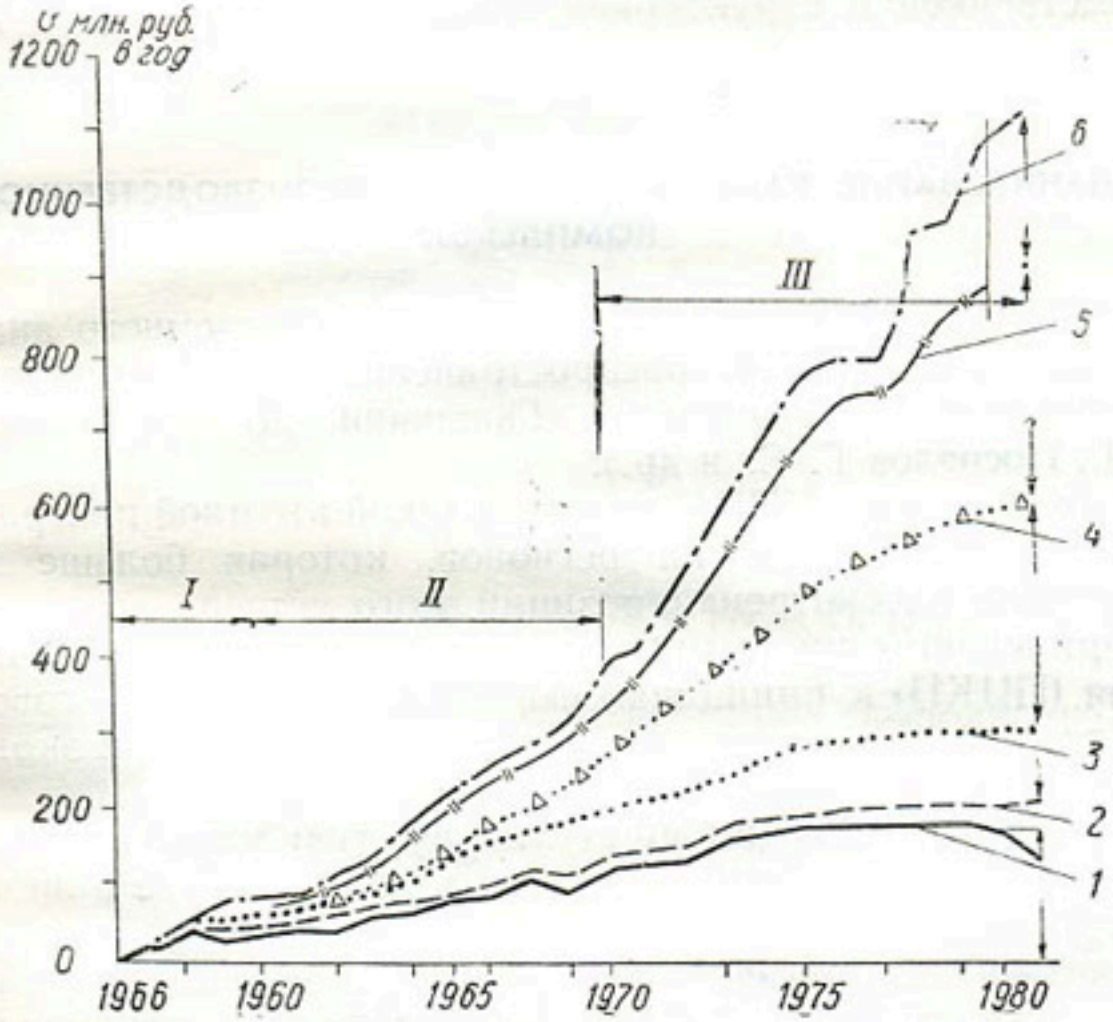

Рис. 5. Изменение удельного веса направлений при комплексном освоении Голодной степи:

I — подготовительный период; II — период развернутого строительства; III — период освоения;

1 — строительство; *2* — промышленность; *3* — снабжение; *4* — сельское хозяйство; *5* — сельхозобработка; *6* — прочие отрасли.

организации или приняли их от комплексных организаций, которые могли бы «перехватить эстафету» от комплексной организации, особенно в вопросах эксплуатации дренажа, оросительных каналов, коммунальных объектов, дорог, ЛЭП и ЛС с тем, чтобы не допустить не только ухудшения работы сельскохозяйственных предприятий, а, наоборот, содействовать повышению эффективности созданного комплекса.

Если говорить о новой зоне Голодной степи, то с 1956 до 1961 г. длился подготовительный период, с 1961 по 1970 г.— период развернутого комплексного строительства и с 1970 г. по настоящее время — период развернутого освоения земель (рис. 5). Период завершения формирования комплекса еще не наступил. Такое деление показывает, что в подготовительный период происходит максимальное замораживание капиталовложений и минимум народнохозяйственного эффекта, далее эффект нарастает по мере увеличения объема орошаемых земель и, наконец, стабилизируется. Анализ повышения эффективности составляющих комплекса, подробно рассматриваемый в главе IV, показывает направление оптимальной ведомственной и структурной подчиненности в различные периоды формирования комплекса.

ПЛАНИРОВАНИЕ РАЗВИТИЯ ПРИРОДНО-ПРОИЗВОДСТВЕННОГО КОМПЛЕКСА

В настоящее время в СССР на основе системного анализа получает все большее распространение программно-целевое комплексное планирование (Гвишиани Д. М., Федоренко Н. П., Поспелов Г. С. и др.).

Формирование ППИК является такой крупной программой экономического развития регионов, которая больше всего может быть рассмотрена с позиции этого метода.

Применение программно-целевого комплексного планирования (ПЦКП) к принципам формирования ППИК позволяет при различных возможных сочетаниях природной и экономической обстановки:

наметить необходимую структуру хозяйственно-экономических связей и организаций и их взаиморазвитие в процессе формирования комплекса;

увязать взаимодействие системы «экономика-природа» и поддержать экологическое равновесие при рациональном использовании природных ресурсов;

обеспечить во взаимодействии с природными экономическими условиями и их преобразованием необходимое социальное развитие региона.

При этом генеральная цель (доктрина по терминологии программно-целевого комплекса планирования) может быть намечена в трех видах:

1. Максимум народнохозяйственного конечного продукта, получаемого от ППИК как части регионального аграрно-промышленного комплекса определенного направления, и специализация на базе развивающегося орошаемого земледелия при ограниченных объемах водозабора, капиталовложений и установленных требований по поддержанию экологического равновесия (цель Z_1).

2. Максимальный народнохозяйственный результат от формируемого ППИК при тех же ограничениях по воде и капиталовложениям и экологии, имея в виду, что народнохозяйственный эффект включает экономический, экологический и социальный эффекты (цель Z_2).

3. Максимум относительной народнохозяйственной эффективности по отношению народнохозяйственного эффекта к затрачиваемым капиталовложениям (цель Z_3).

Им соответствует три вида выражений:

$$Z_1 = \max \sum_{o}^{\tau} \sum_{o}^{n} V_{t_i} (tF_t; \Lambda_{t_i}; d_{t_i}; \gamma_{t_i}), \tag{4}$$

$$Z_2 = \max \sum_{o}^{\tau} \left(\sum_{o}^{n} Э_{ti} + Э_c + Э_к + Э_{зк} \right), \tag{5}$$

$$Z_3 = \max \frac{\sum_{o}^{\tau} \sum_{o}^{n} (\Sigma Э_{ti} + Э_c + Э_к + Э_{зк})}{\sum_{o}^{\tau} \sum_{o}^{n} \cdot K_{gi}(t)} \tag{6}$$

$$\text{при } W_n(t) < [W_n(t)]; \quad \sum_{o}^{n} K_i(t) \leqslant [K_i(t)].$$

Наиболее целесообразно одновременное выполнение целей Z_1 и Z_2 или Z_1 и Z_3, так как выражение Z_1 определяет народнохозяйственную цель комплекса в получении конечного продукта в увязке объемов производственных его составляющих, а Z_2 и Z_3 позволяют учесть суммарную эффективность комплекса с учетом социального и экологического эффектов.

За доктрину формирования ППИК приняты выражения Z_1 и Z_2, положенные в основу математического программирования его развития. Здесь особенностью является необходимость поиска оптимума не только за весь период формирования, но и за каждый год его развития при изменяющихся ведущих параметрах

$$[t \to F_t;\ Y_t(t);\ W_n(t);\ \Lambda_t;\ d_t;\ \gamma_t].$$

Естественно, что для получения оптимума главных целей необходимо получить субоптимумы декомпозиции целей, как это рекомендуется работами Н. П. Федоренко, Г. П. Поспелова (38), а также Р. Л. Раяцкасом для региональной системы АСПР (41).

Для выбора подцелей первого уровня подразделяем четыре сферы развития комплекса в соответствии с выделенными составляющими эффекта по выражению (5), а в каждой из них в соответствии с предложенной нами схемой ППИК (см. рис. 2) группируем отдельные объекты (блоки), как элементы II уровня.

Как видно из рис. 3, между составляющими I уровня и блоками II уровня имеются в первую очередь прямые связи суммирования и косвенные связи влияния и взаимодействия. Здесь на уровне сфер первого уровня мы получаем суммарный эффект, а на уровне блоков второго уровня — суммарные капиталовложения, эксплуатационные и приведенные затраты как показатели эффективности ППИК. Наиболее активным влиянием отличаются блоки 1.1 и 1.4, которые, будучи тесно связаны с детерминантом комплекса — орошаемыми землями, определяют в значительной степени результативность достижения главных целей и влияние на природные условия. Другие блоки сферы имеют пассивную связь со сферой IV и в основном замыкаются на внутреннем взаимодействии в производственной сфере, хотя и влияют на социальное развитие.

Сопряженные отрасли участвуют в комплексе аналогично I сфере, поэтому принципиальные положения, характерные для ее блоков, применимы и здесь.

Характер развития социальной сферы частично освещен в наших работах (15, 16), но в данной работе мы учитываем только затраты на эту сферу в общих капиталовложениях, их соответствие потребностям I сферы, а также их эффективность.

Таким образом, основные задачи построения моделей формирования ППИК будут сводиться к установлению субоптимума между блоками I (III) сферы с учетом ограничений II и IV сферы и выявлению оптимальных взаимосвязей в динамике между субблоками 1.1 и 1.4 и блоками природных условий.

Следует иметь в виду, что отклонения от оптимальных пропорций и связей, о которых говорилось выше, приводят к снижению экономической эффективности развития основного элемента — орошаемого земледелия, либо от возникаю-

щих дополнительных удорожаний при запаздывании начала функционирования каких-либо нужных объектов или от замораживания капиталовложений при их опережающем вводе или отставании.

Здесь наглядным примером могут быть многочисленные диспропорции, допускавшиеся в освоении Голодной степи. Так, систематически отмечались резкие отклонения в обеспеченности различными объектами хлопкоперерабатывающей промышленности.

В отдельные периоды мощности хлопкоперерабатывающих пунктов в новой зоне Голодной степи были либо недостаточными, либо излишними, а мощности хлопкоперерабатывающих заводов были постоянно недостаточными. В табл. 3 приведены основные показатели увязки плана сдачи хлопка-сырца, его фактического выполнения и работы хлопкозаготовительных предприятий. Эта таблица свидетельствует, что основные отклонения объема заготовок от мощности хлопкоперерабатывающих предприятий происходили из-за перевыполнения плана хлопкозаготовок и главное из-за неправильного планирования ассигнований на хлопкоочистку. В результате целый ряд лет (1965—1970, 1975—1977 гг.) строились лишние мощности для хлопкозаготовки при большом недостатке мощностей по переработке, при постоянном выполнении плана ввода мощностей. В результате в эти годы эффективность хлопкозаготовки снижалась из-за замораживания капитальных вложений на заготпунктах, удорожания транспорта, отдаленности перерабатывающих предприятий (Фергана, Андижан, Самарканд и т. д.).

Причина этого в отдельном финансировании указанных работ за счет средств Минхлопкопрома, не увязанном с комплексным освоением земель, в отсутствии достаточно четкого планирования в пределах республики, скоординированного с комплексным освоением земель усилиями других министерств, и, наконец, дефиците капиталовложений.

Вообще для любой отрасли для любого года надо, исходя из темпов роста орошения земель и указанной отрасли, определять следующий минимум:

$$\sum_{o}^{n}(n_i' - n_{фi})O_ф\,(n_{ам} - n_{зк}) + \sum_{o}^{n}(n_{фi} - n_i')П_ф = \min. \qquad (7)$$

Аналогичное отставание в строительстве дренажа привело к резкому снижению сельскохозяйственного производства и рентабельности ряда совхозов. Опережение в строительстве межхозяйственных коммуникаций способствовало увели-

Таблица 3

Влияние диспропорций между созданием хлопкоочистительной промышленности и освоением земель новой зоны Голодной степи на эффективность переработки

Год	Объем заготовок хлопка-сырца, тыс. т		Мощности хлопкопунктов*, тыс. т		Мощности хлопкозаводов, тыс. т		Дефицит—, излишки+, тыс. т		Прибыль+, убыток—
	план	факт.	план	факт.	план	факт.	хлопкопункт	хлопкозавод	
1961	14,8	14,0	14,3	14,3	42**	42	+0,3		—
1962	31,5	33,9	14,3	14,3	42	42	—19,6		+0,1
1963	51,6	54,6	50,9	50,9	42	42	—3,7	—12,6	+3,5
1964	72,3	73,6	67,0	67,0	42	42	—6,6	—32,6	+5,2
1965	91,0	80,8	101,3	101,3	75	75,0	+20,5	—5,8	+12,1
1966	109,2	102,6	164,6	164,6	75	75,0	+62,0	—27,6	+15,1
1967	120,0	121,2	187,2	187,2	108	108,0	+66,0	—13,2	+06,2
1968	130,0	113,5	187,2	187,2	141	108,0	+73,7	—5,5	+13,5
1969	150,0	154,3	208,9	208,9	174	174,0	+63,6	—28,7	+8,3
1970	155,0	195,5	208,9	208,9	174	174,0	+13,4	—21,5	+21,2
1971	213,8	234,4	224,1	224,1	174	174,0	—10,3	—60,4	+11,0
1972	233,0	277,0	247,5	268,3	207	207,0	—8,7	—70,0	+14,1
1973	262,2	317,3	268,3	268,3	277	207,0	—49,0	—110,0	+10,2
1974	301,5	324,3	306,3	306,3	277	240,0	—17,6	—94,3	+13,5
1975	293,0	308,2	331,1	331,1	310	310,0	+22,9	+1,8	+18,6
1976	362,2	366,5	376,2	376,2	343	343,0	+9,7	—23,5	+5,3
1977	363,8	365,6	389,1	389,1	343	343,0	+23,5	—22,6	+4,2
1978	404,7	429,4	409,1	409,1	343	343,0	—20,3	—86,4	+1,6

* Мощности определены с учетом 25% превышения над емкостью площадок за счет переработки в процессе заготовок

** 42 тыс. т. — свободная мощность, находящаяся вблизи Баяутского и Гулистанского хлопкозаводов на начало строительства.

чению замораживания капиталовложений на их строительство.

Наряду с этим надежность соблюдения комплексности строительства определяется, кроме соответствия планирования и увязки различных компонентов в ППИК, еще оптимумом и точностью выполнения. С этой целью строительные и освоенческие работы разбиваются на элементарные специализированные потоки с увязанным ритмом и постоянными связями, базами стройиндустрии и определенным запасом времени на комплектацию. Это показано в главе IV на примере комплексной организации строительства совхоза. В противном случае, как известно из работ М. С. Будникова, И. А. Луйка, строительно-освоенческие работы являются настолько стохастической системой, что обеспечить их увязанные темпы не представляется возможным.

Орошение, интенсивно вторгаясь в природную обстановку, резко изменяет ее.

В свете современных представлений о биохимических циклах в природе (25, 26) пустынные и полупустынные природные ландшафты отличаются самыми высокими потенциальными энергетическими возможностями, высоким возможным плодородием, однако в естественном состоянии годичный оборот минеральных веществ в них ограничен из-за отсутствия воды и не превышает уровня лесной зоны (500 кг/га). Интенсификация водного режима за счет орошения резко повышает биологическую, геохимическую и гидрологическую активность среды и таким образом увеличивает интенсивность (а иногда изменяет и направленность) сложившихся биохимических циклов в региональном масштабе. При этом на приземный слой атмосферы, почву, геоморфологическую толщу и гидрографическую сеть воздействует не только орошение (рис. 7), но и растительный покров, грунтовые воды, дренаж, через многочисленные многоступенчатые вторичные связи, некоторые из которых очень сложны, от тех субстанций, на которые они влияют первично.

Одновременно влияние на природную обстановку оказывают развивающиеся при орошении селитебный комплекс и особенно интенсификация сельскохозяйственного производства. Связи внутри природной части комплекса очень сложны. Грунтовые, почвенные и гидрогеологические условия не только сами изменяются под воздействием оросительной воды, но и оказывают влияние на ее качество в процессе инфильтрации, движения по орошаемой территории до водоприемника. Здесь важно проследить пути изменения водного фактора, свойств почвы и подстилающей толщи, минерального состава и даже климатических показателей.

Основные изменения природной части комплекса, как видно, происходят на основе изменения водного баланса региона, который приводит к изменению теплового и минерального балансов. При этом если составляющие водного баланса резко возрастают за счет подачи оросительной воды, то тепловой баланс в сумме почти не изменяется, а происходит перераспределение его составляющих между собой.

При этом эти три баланса орошаемого массива являются как бы основой описания природной части комплекса:

водный баланс

$$W_{\text{п}} + O_{\text{с}} = E_{\text{т}} + U + (\overline{\Pi} - \overline{O}) + (\underline{\Pi} - \underline{O}) + \Phi + W_0 + \Delta\Theta_t, \qquad (8)$$

тепловой баланс

$$(1 - \alpha) Q = 1 + B_t + P + L(E_т + U), \qquad (9)$$

минеральный баланс

$$W_п C_{ор} + O_с \cdot C_{ос}(\overline{П} - \overline{О}) \cdot C_{пв} + (\underline{П} - \underline{О}) \cdot$$
$$C_{гв} + ФC_н + W_о C_{ор} + S_{ур} \pm S_{в.п.} \pm S_{эр.п.}. \qquad (10)$$

Основным определителем во всех балансах является величина потребляемой воды ($W_п - W_о$), которая одновременно выступает в качестве главного связующего звена между природной и производственной частями комплекса. Другой такой составляющей является продуктивность земель, представляющаяся нам сочетанием потенциальных водных, тепловых, питательных свойств под влиянием мелиоративных мероприятий и строительных процессов.

Представленные на рис. 7 компоненты агроэкосистемы не являются полностью исчерпывающими. Здесь поставлена задача определить изменения основных элементов агроэкосистемы, специфической для пустынных и полупустынных ландшафтов аридной зоны, изменяющейся под действием орошения и дренажа. Поэтому из рассмотрения исключаются биогенные выделения, сопутствующие организмы, конкурирующие организмы, химрегуляторы, как не определяющие основные пути развития агроэкосистемы в процессе перехода ландшафтов от неорошаемой к орошаемой формациям и изменения которых не должны обязательно учитываться при проектировании и осуществлении переходных процессов орошения.

В основу схемы взаимодействия оросительных мелиораций и природных субстанций в составе ППИК принято члененное воздействие элементов орошения и дренажа, а также их побочных явлений на почву, приземный слой атмосферы, растительный покров, геоморфологическую толщу, грунтовые воды и реку. Для большей детализации проследим систему взаимосвязей, представленную в диаграмме на рис. 7, на отдельных схемах по каждой природной субстанции, имея основными внешними воздействующими факторами, создаваемыми и управляемыми при орошении, следующие

1. Орошение (включая промывки): 1.1 — эвапотранспирация;
1.2 — инфильтрация
1.3 — потери в сети
1.4 — поверхностные сбросы

2. Дренаж:
2.1 — глубина
2.2 — интенсивность
2.3 — объем дренажного стока

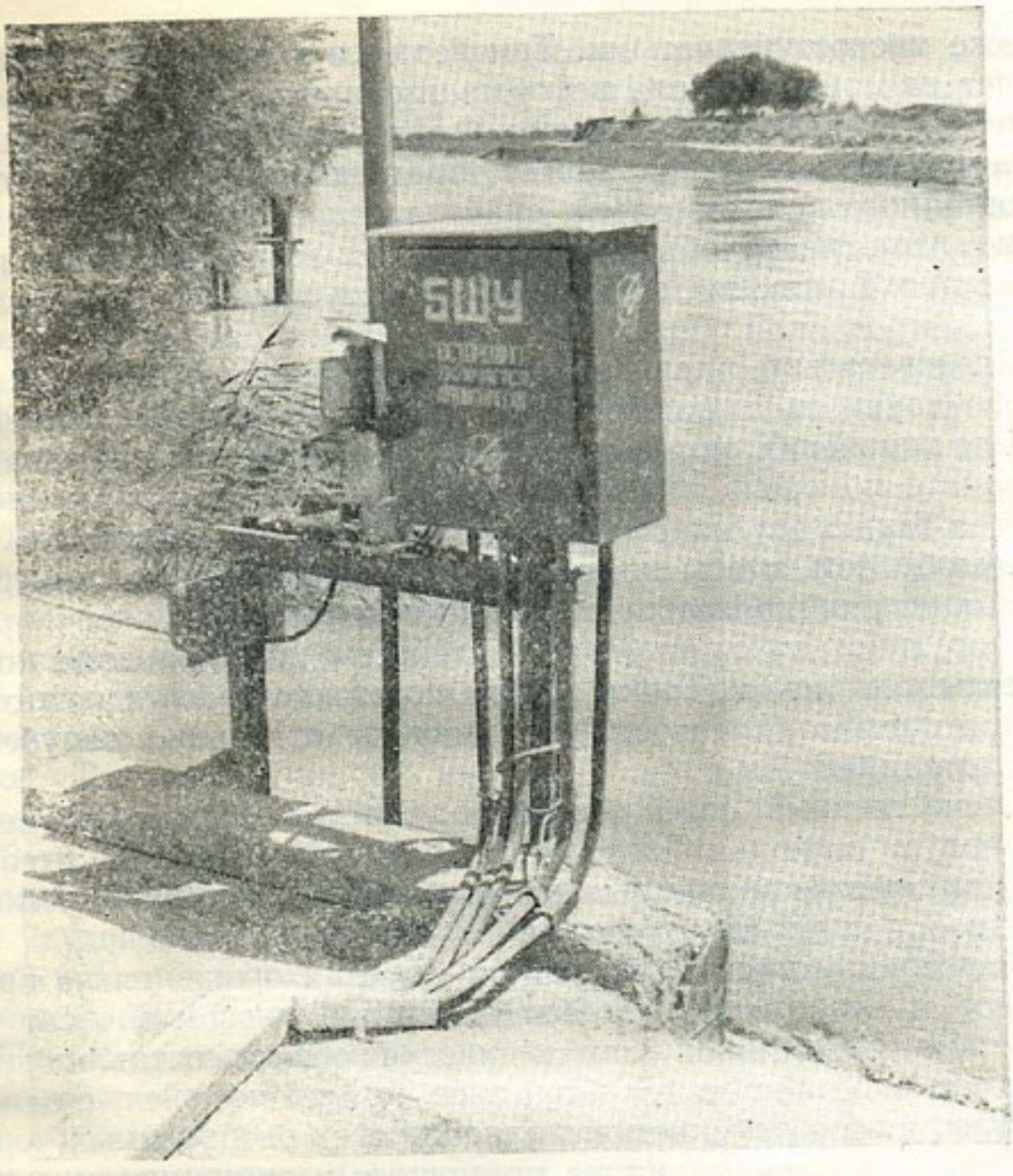

Рис. 6. Автоматизированный пульт управления на южном Голодностепском канале.

2.4 — минерализация стока

3. 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 — промпредприятия

3.2.4 — обработка почв

3.2.5 — развитие животноводства

Как видно из рис. 7, между выделенными характеристиками шести основных субстанций имеется огромное множество связей. При этом эти связи являются как односторонними и двухсторонними, так и 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, а 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.

Следовательно, при развитии орошения необходимо на основе научного и инженерного прогноза правильно определить те изменения, которые произойдут в природных условиях региона с помощью инженерных, почвенных и агротехнических, а также других решений и мероприятий, направить их таким образом, чтобы не только не допустить ухудшения природных условий, а, наоборот, обеспечить долговременное и прогрессирующее положительное воздействие на природные компоненты комплекса. Точка зрения советских ученых по этому вопросу прямо противоположна мнению отдельных зарубежных специалистов.

Отечественный опыт освоения крупных массивов земель (в первую очередь Голодной, Сурхан-Шерабадской степей и других массивов) показывает ошибочность пессимистических взглядов о влиянии ирригации на природу.

Надежность прогрессирующего влияния орошения на природную и экономическую обстановку во многом зависит не только от правильной направленности обеих составляющих комплекса, но и от их взаимоувязки, проявляющейся, с одной стороны, в своевременном выполнении всех необходимых мероприятий для воздействия на природные и экономические условия, с другой стороны, в постоянном контроле, регистрации и анализе тех изменений, которые происходят в осваиваемом регионе.

Особое внимание должно быть уделено созданию в его составе администрации комплекса, его производственных организаций, необходимых при них мелиоративных, метеорологических и других служб для того, чтобы не только наблюдать за соответствием изменений природных условий проектным прогнозам, но и своевременно уловить эти изменения, если они будут проходить аномально, и дать возможность научным организациям выработать коррективы к соответствующим решениям и конструкциям.

Наблюдения за ходом реальных процессов в огромном объекте воздействия, каковым являются массивы нового орошения, необходимы и для того, чтобы постоянно корректировать модели управления, построенные на основе схемати-

зации происходящих в них процессов, сопоставляя их с данными натурных изменений. На эти положения правильно указывается в работах Е. П. Галямина (10) и Б. Б. Шумакова (51) относительно путей построения системы комплексного регулирования факторами жизни растений, но она целиком справедлива и для описываемого нами ППИКа. Такая служба может дать значительный экономический эффект. Так, на основе наблюдений мелиоративной службы Голодностепстроя за динамикой уровней грунтовых вод и солевым режимом почвогрунтов удалось сократить вдвое против проекта густот/ горизонтального дренажа (только по совхозу № 17), что позволило сэкономить около 1,2 млн. руб.

Тщательная разработка формирования природно-производственного ирригационного комплекса и его составляющих должна проходить с учетом усиленных темпов развития орошения, достигающих на массиве 10—30 тыс. га в год. В результате этого интенсивность капиталовложений и полученный эффект выражается в огромных цифрах — 100—200 млн. руб. в год. Так же велик на массиве — до 2,00—3,00 млрд. $м^3$ воды—ежегодный объем водозаборов.

В то же время при таких темпах очень трудно устранить диспропорцию, если она сложится, и предотвратить серьезные ухудшения в природной обстановке, если будут допущены ошибки в проектных прогнозах, особенно в исполнении проектных решений по срокам и объемам.

Поэтому, рассматривая формирование комплекса как конечную цель освоения крупного массива, необходимо, используя указанные выше темпы, изменения природных условий направить в нужном направлении и обеспечить стабилизацию природной обстановки в течение периода развернутого освоения с тем, чтобы до конца формирования комплекса все изменения природной обстановки, так же как и создание всех необходимых производственных и экономических связей, были завершены.

Развитие науки, проектирования, строительства и экономики нашей страны настолько высоко в настоящее время, что проблема освоения крупных массивов орошаемых земель может быть успешно решена на научной основе и соответствующем техническом уровне при создании природно-производственных комплексов, с учетом пропорционального и планомерного развития его производственных составляющих и направленных изменений природной обстановки, имея конечной целью высокую эффективность орошаемого земледелия, опережающие темпы роста национального дохода и положительное влияние на окружающую среду.

Глава II

ИЗМЕНЕНИЕ ПРИРОДНЫХ УСЛОВИЙ ПОД ВЛИЯНИЕМ ОРОШЕНИЯ И РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ НАПРАВЛЕННОГО УПРАВЛЕНИЯ ИМИ С ПОМОЩЬЮ МЕЛИОРАТИВНЫХ ПРОЦЕССОВ

НАПРАВЛЕННОСТЬ ИЗМЕНЕНИЯ ПРИРОДНЫХ УСЛОВИЙ ПРИ ОСВОЕНИИ КРУПНЫХ РЕГИОНОВ

В практике орошения крупных массивов земель в аридной зоне, как в СССР, так и за рубежом, имеются многочисленные примеры разнообразного влияния ирригации на природные условия территории.

Еще в первый период орошения Голодной степи (1907—1917 гг.) было установлено (М. М. Бушуев, Н. А. Димо), что в условиях недостаточной естественной дренированности под влиянием орошения происходит подъем минерализованных грунтовых вод и развивается засоление почвогрунтов.

Там же в 1917—1923 гг. В. Ф. Булаевский наблюдал развитие интенсивных просадочных явлений до 0,3 м по высоте при орошении Малекской ветки, позднее, в 1940 г., такие же явления с абсолютной величиной до 1,0 м были отмечены и при орошении Тугайных веток в Голодной степи.

Аналогичный интенсивный подъем уровней минерализованных грунтовых вод и вторичное засоление земель фиксируются многочисленными исследователями, занимающимися изучением влияния развития орошения в Кураараксинской низменности (Ковда В. А., Волобуев В. Р., Бехбудов А. К., Варунцян Э. С. и др.).

Зачастую подъем уровня грунтовых вод происходит под влиянием орошения на рядом расположенных землях. Такое явление имело место под воздействием таджикской части Голодной степи на неорошаемые земли Обручевского плато Джизакской степи и поливные земли Баяутского массива Голодной степи, где благодаря гидравлической связи подземных горизонтов и соответствующим уклонам водоносных слоев произошел интенсивный подъем уровня грунтовых вод на 10—22 м под действием инфильтрующихся вод.

Характерные примеры подъема грунтовых вод и вторичного засоления могут быть приведены для тех регионов, где развитие интенсивного орошения вместо «переложного-бродячего» снимает действие «сухого дренажа» в условиях недостаточной естественной дренированности. Это Мургабский и Тедженский оазисы в Туркмении после прихода каракумской воды в 1960 г., Бухарская область в Узбекистане и т. д.

Так, по данным И. С. Рабочева (40), в Мургабском оазисе с приходом каракумской воды площади орошения увеличились с 99 до 228 тыс. га, а суммарная водоподача—с 13 до 18 тыс. м³/га. При этом КЗИ увеличился с 27,5 до 63 %. Строительство дренажа резко отстало, в результате чего отток с территории оазиса составил в 1966 г. только 155, а в 1970 г.— 328 млн. м³ против водоподачи (орошение + осадки) соответственно 2562 и 3650 млн. м³, или 6,05 и 9,08 %. Если прибавить к этому уменьшение испарения с перелогов в два раза, то становится ясным тот подъем уровня грунтовых вод и неблагополучный солевой баланс зоны аэрации, который имеет место и до сего времени.

Площади земель с уровнем грунтовых вод 0—2 м здесь увеличились с 19,7 до 35,3 %. Отсюда понятно, почему, несмотря на огромные объемы водозабора, здесь урожайность остается очень низкой — 15—17 ц/га хлопчатника.

С момента пуска канала площади слабозасоленных и незасоленных земель снизились с 72 до 47 %, средне- и сильнозасоленных увеличились соответственно с 17 до 37 % и солончаки — с 11 до 16 %.

Такие примеры имеют место и за рубежом. Общеизвестны факты обширного распространения вторичного засоления земель, вызвавшего гибель древних цивилизаций в долине рек Тигра и Евфрата, развитие вторичного засоления земель в древних долинах р. Нил.

Американские ученые установили, что, по всей вероятности, такую же катастрофу перенесли древние индейцы американского материка в долине р. Соленой, где плодородие земель было потеряно в результате вторичного засоления.

Усиление масштабов ирригационных работ в последнее столетие дало многочисленные примеры различного влияния орошения на гидрогеологические условия.

Более интенсивное орошение земель, начавшееся в конце XIX в., сразу вызвало их засоление. В Индии уже в 1876 г. была создана специальная комиссия по установлению причин этого явления.

Под влиянием орошения уровни грунтовых вод интенсивно поднимаются. На Деканском плоскогорье в штате Махараштра после начала орошения темпы подъема грунтовых вод составили до 1 м/год, а в штате Гуджарат на системе канала Маги — до 6,5 м в год.

Ч. Мейерхофер наблюдал подъем уровня грунтовых вод с 9 до 60 м за период до 5 лет в условиях малой водоотдачи (2—11 %), больших потерь вод и неудовлетворительной техники полива. Такие же данные имеют место в Австралии и Иране.

Ученые приходят к выводу, что уровень грунтовых вод на орошаемой территории поднимается вследствие потерь на оросительных каналах и на полях, при этом верхний слой рассоляется постепенно, но минерализация воды и уровень повышаются.

По достижении критического уровня (2,5÷3 м) происходит ряд серьезных изменений на орошаемых территориях: уменьшается их плодородие, становится трудно обрабатывать почвы машинами, имеют место просадки, осадки и разрушения зданий, дороги «садятся», появляются очаги малярии и т. д. Подъем уровня грунтовых вод (до 2—3 м в год) зависит от разных условий, особенно для неинженерных систем.

В то же время можно привести примеры, когда орошение не приводит к подъему уровня грунтовых вод (орошение земель в зоне Северного Ташкентского канала в Узбекистане, Келесского массива в Южном Казахстане), если территория естественно хорошо дренирована. Здесь уровни грунтовых вод не изменились, а произошло только увеличение влажности всей зоны аэрации.

В Калифорнии в результате орошения из системы скважин имело место обратное явление — резкое снижение уровней грунтовых вод на 60 м от исходных отметок. Это привело к нарушению обеспеченности оросительной водой этого района.

Под действием орошения наблюдаются факты ирригационной эрозии в СССР в Закавказье, при освоении адыров Ферганской долины, в горных районах Таджикистана, на землях Сурхан-Шерабадской степи. В зарубежной литературе приводятся данные об аналогичных явлениях в Австралии, Мексике — в основном там, где орошение развивается на землях с большими уклонами (0,01).

Обширная географическая литература дает возможность оценить наличие других, менее заметных, но в то же время довольно распространенных изменений природной среды — характера растительности, климата, животного мира и т. д.

И. П. Герасимовым, А. Г. Бабаевым, Л. С. Вендровым, К. С. Будыко и другими учеными проведены многочисленные анализы влияния строительства крупных водохозяйственных систем и каналов на естественную среду. Интересны, например, исследования Института географии АН СССР по взаимодействию системы «канал-пустыня» в Южной Туркмении в зоне Каракумского канала. Они показали, что в зоне действия канала (1—10 км) произошла смена древесно-кустарникового покрова растительности песчаного типа на более влаголюбивые ассоциации тугайного и сазового типа даже на неосвоенной территории, не говоря уже об освоенной, где интенсивно развивалась культурная растительность.

Наконец, за последние 50 лет орошение проявило себя в интенсивном влиянии на характеристики стока рек — величину его и качество воды, которые претерпевают значительные изменения вследствие отбора пресной воды из рек для орошения и возврата в бассейны минерализованных коллекторно-дренажных вод. Так, в реке Колорадо в створе плотины Империал минерализация воды увеличилась за последние 30 лет с 300 до 851 мг/л. Ожидается, что к 2000 г. она еще более повысится и достигнет 1,160—1,340 мг/л, что принесет ущерб 124 млн. долларов в год. В СССР сложное положение складывается в долине реки Сырдарьи. При использовании орошения необходимо учитывать факторы возможного воздействия его на окружающую среду.

ТИПЫ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ОРОШЕНИЯ С ПРИРОДНЫМИ УСЛОВИЯМИ

Представленные на рис. 7 связи между элементами природных субстанций комплекса позволяют выделить основные направления их взаимодействия в процессе орошения и те изменения, которые в результате этого происходят.

В настоящем разделе приведена классификация основных изменений природных условий под влиянием орошения и их направленность (табл. 4). При этом все изменения подразделены на стабильные и нестабильные, управляемые и слабоуправляемые. Под стабильными изменениями природных условий подразумеваются такие, которые происходят при орошении в обязательном порядке, а под нестабильными те, которые

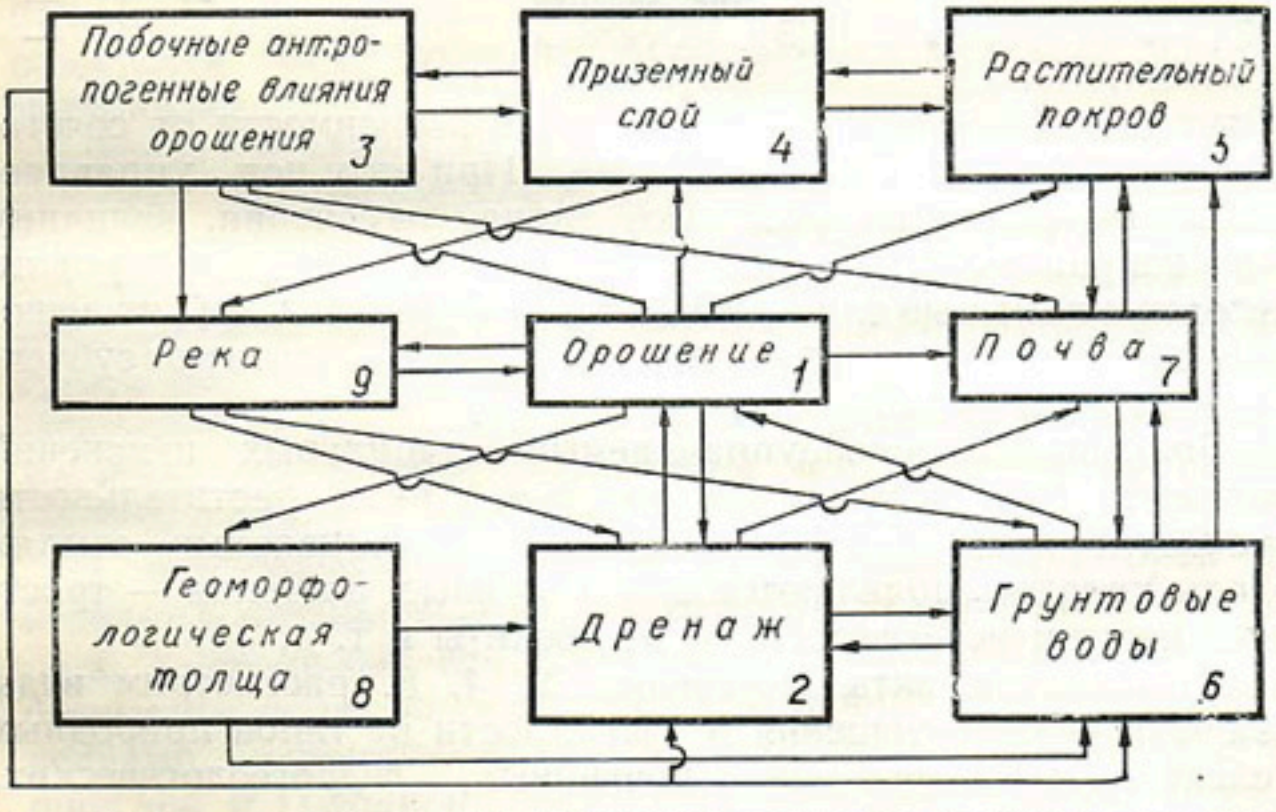

Рис. 7. Схема связей в природной части комплекса в период орошения.

Таблица 4

Виды взаимодействия орошения с различными природными условиями

№ п/п	Вид изменений природных условий	Наименование изменений природных условий	Воздействие	
			положит	отрицат.
1	Стабильные слабоуправляемые	Изменение климата	+	—
2	»	Изменение характера дикой растительности	+	—
3	»	Изменение микроорганизмов	+	—
4	»	Изменение животного мира	+	—
5	» Управляемые	Снижение силы ветра	+	—
6	» »	Изменение микроклимата	+	—
7	« »	Изменение стока рек	+	—
8	» »	Изменение культурной растительности	+	—
9	» »	Снижение непродуктивного испарения	+	—
10	Нестабильные управляемые	Изменение почвенного покрова	+	—
11	» »	Изменение уровня и режима грунтовых вод	+	—
12	» »	Изменение минерализации грунтовых вод	+	—
13	» »	Изменение влажности зоны аэрации	+	—
14	» »	Изменение минерализации речной воды	—	—
15	» »	Изменение водно-физических свойств почвогрунтов	+	—
16	» »	Изменение запасов солей в зоне аэрации	+	—
17	» »	Эрозия склонов	+	—

могут произойти или не произойти в зависимости от сочетания других природных факторов. При этом под управляемыми изменениями понимают такие изменения, величину или направленность действия которых может регулировать человек с помощью определенных инженерных и других мероприятий, а слабоуправляемые — которые не зависят от субъективного вмешательства человека.

Большинство слабоуправляемых стабильных изменений является положительными: скудная дикая растительность сменяется культурной, кое-где на неосваиваемых землях вдоль каналов появляются влаголюбивые растения — тростник, камыш; исчезают термиты, москиты и т. д.

Исключая пункты изменения 2, 4, 8, рассмотрим виды взаимодействия орошения в зависимости от типов природных условий: климатических, почвенных, гидрогеологических, гидрологических.

ИЗМЕНЕНИЕ КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ПРИ ОРОШЕНИИ

Изменение климата проявляется в повышении влажности воздуха в течение года и особенно в летний период, изменении радиационного баланса, снижении температуры и в отдельные сезоны уменьшении силы ветра. Зарубежные исследователи (Мэрдок В. и др.) утверждают, что при орошении изменяются только температура воздуха, почвы и влажность, радиационный баланс и сила ветра остаются без изменений.

М. И. Будыко (7) на примере данных по совхозу «Пахтаарал» в Голодной степи установил увеличение радиационного баланса и количества тепла, идущего на испарение. При этом максимальные величины радиационного баланса в дневной период отличаются между оазисом и пустыней на 20—25 %— $R = 0{,}95$ и 0,68 кал/см^2 соответственно. Вследствие того, что тепло в пустыне в основном тратится на нагревание земной поверхности и очень мало на испарение, земля нагревается здесь намного сильнее. По теоретическим расчетам М. Будыко получил возможную разницу температур земли и воздуха до 10—20° С. Этим определяются большие потоки тепла из почвы в воздух.

При орошении резко возрастают величины испарения и затраты тепла, что снижает температуру земной поверхности до очень больших размеров. При устойчивом увлажнении температура почвы становится меньше температуры воздуха.

В табл. 5 приведена сводка имеющихся результатов работ по изменению климатических показателей при орошении. Как видно из приведенных данных, изменения радиационного баланса, турбулентного теплообмена, температуры и дефицита влажности носят довольно однообразный характер по этим материалам.

Чтобы детально определить величины изменения климатических параметров для нашей зоны, нами в 1974—1978 гг. были поставлены долговременные опыты по изменению составляющих радиационного, теплового баланса и климатических параметров на территории Каршинской и Голодной степей для определения путей учета их изменений в переходный период (Милькис Б. Е., Чолпанкулов Э., Гапич Т., Нигматов Т., Узенбаев Э. и др.). Результаты исследований позволяют сделать следующие выводы:

1. Все основные изменения климатических факторов происходят в первые 3—4 года после начала орошения.

2. Уменьшение среднемесячной температуры «целина — орошаемое поле» по сравнению с метеорологическими наблюдениями Гидрометеослужбы за многолетний период в Каршинской и Голодной степях составляет 1,2÷2,8° С. В то же

Сравнительные данные изменения

Показатели	Будыко М. И., Узбекистан		Горбунова И. Г., Орловский Н. С., Туркмения	
	орошаемые	неорошаемые	орошаемые	неорошаемые
Радиационный баланс, кал/см²/мин.				
макс.	0,95	0,6	—	—
сред.	0,46	0,27	—	—
Турбулентный теплообмен, кал/см²/мин.				
макс.	—	—	—	—
сред.				
Среднесуточная температура поверхности почвы за вегетацию, °С				
макс.	—	—		
сред.	—	—	—5	по отношению к неорошаемым
Среднесуточная температура воздуха, °С				
макс.	—0,6÷	по отношению к неорошаемым		»
сред.	—3,1			
Дефицит влажности h=0,5 м	—0,4÷		—5÷	»
	—5,4	«	—10	

время сравнение непосредственных наблюдений «целина — хлопок» в Каршинской степи показывает наличие разницы от 2 до 5,3° С, в Голодной степи — от 1,5 до 4,01° С, особенно в период июль—сентябрь.

3. Если на целине в летний период температура воздуха на высоте 0,5 м больше, чем на высоте 2,0 м порядка 0,5—1,2° С, то при развитии орошения с мая временами, а с июля постоянно происходит переход к инверсии в дневные часы суток. После каждого полива температура воздуха снижается на 2—4,5° С в слое 0,5 м, менее проявляясь в слое 2,0 м. Основные температурные изменения происходят за два года.

4. Влажность приземного слоя претерпевает в процессе орошения наиболее сильные изменения вследствие транспирации и резкого увеличения испарения.

5. Относительная влажность воздуха по регистрационным точкам Гидрометеослужбы дает в вегетационный период отклонения при сравнении «целина — орошаемое поле» хлоп-

Таблица 5

климатических показателей при орошении

Дзердзеевский Б. Л., Заволжье, Прикаспий		Сухнина М. К., Заволжье		Волеваха Н. М., Херсонская обл.		Дурдыев А. М., Ташкент		Дурдыев А. М. и др. Бахарден	
орошаемые	неорошаемые	орошаемые	неорошаемые	орошаемые	неорошаемые	орошаемые	неорошаемые	орошаемые	неорошаемые
2,0 1,51	1,4 0,96		—	+15%	по отношению к неорошаемым	0,28	0,17	0,31	0,17
—1,50 —0,5	0,54 0,41		—		—	—	—	—	—
21 18	32 24	—5	по отношению к неорошаемым	—2—3	по отношению к неорошаемым	22	32	24	38
26 22	32 24	—1,5 —5,0	»						
20 17	26 19	—3	»	—5—10%	»	—	—	—	—

чатника на 25—30% с максимумом среднемесячной разницы 11—12%. В то же время сопоставление одновременных наблюдений в совхозе № 9 на староорошаемом массиве и совхозе № 25 на целине показывает разницу влажности в 25—34% (или на 180—260% относительной величины). При этом, если на целине влажность 0,5-метрового слоя меньше, чем на высоте 2,0 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 первый год — на 15—20, второй год — на 14—19, третий год — на 8—10%.

Влажность в мае в основном определяется погодными условиями, а в остальные месяцы резко изменяется под влиянием орошения. Особенно это проявляется в июле—сентябре.

6. Изменение влажности по годам переходного периода хорошо видно из формулы

$$\frac{r_t - r_0}{r - r_0} = 0{,}32t - 0{,}023t^2 \quad \text{при } n = 0{,}99 \quad 0 < t < 5. \tag{11}$$

В. Р. Шредер (50) составил графики зависимости усредненной испаряемости в вегетационный период от освоенности территории, где испаряемость по отношению к началу освоения резко изменяется в зависимости от степени освоенности и достигает 30 % и более в среднем за вегетацию. Анализ данных по Голодной и Каршинской степям показывает, что испаряемость при переходе от целины к оазису снижается довольно значительно, но только в отдельные месяцы — апрель—июль. Так, при небольшой разнице температур ($\pm 1{,}6 \div 2{,}2$° С) относительная влажность в эти месяцы может различаться между целиной и оазисом на 21 % и даже более. Это дает переходный коэффициент 0,73 и даже менее. 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, при этом нами 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, только отдельные данные по изменению температур и относительной влажности воздуха.

Расчеты, проведенные нами, показали небольшую изменчивость и слабое влияние относительного изменения температуры в условиях оазиса и перехода от пустыни к нему (I — 4,5 %) и доминирующее значение изменения относительной влажности, на основе чего построен график зависимости $\frac{E}{E_0}$ от отношения среднемесячной влажности в пустыне или переходном массиве к среднемесячной влажности в этот же период в оазисе $\left(\frac{r}{r_0}\right)$ (рис. 8). На основе графика и известных для оазиса среднемесячных значений испаряемости можно определить значение искомой испаряемос-

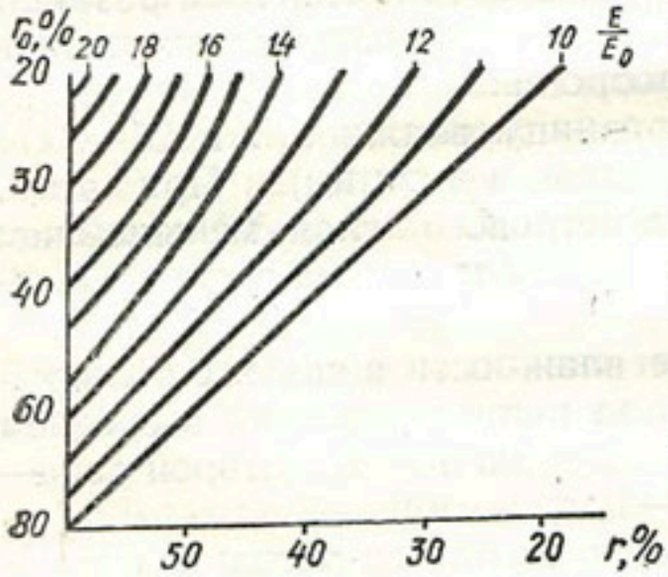

Рис. 8. Зависимость величины испарения от относительной влажности воздуха.

ти не только для целины, но и для любого переходного во времени момента вегетации. При этом диапазон изменения влажности составляет от 20% в пустыне до 60% в условиях оазиса, что несколько более широко, чем у В. Р. Шредера, где эти параметры соответственно 30 и 55%.

7. Постоянное увлажнение почвы при поливах и расход 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 сравнение данных для одного и того же года наблюдений Э. Чолпанкулова и Т. Нигманова, 1974 г. и ряда лет в Голодной и Каршинской степях показывает, что величина радиационного баланса в среднегодовом разрезе возрастает на 10—20%, а в летние месяцы — июнь—август вследствие поливов среднедекадные значения R увеличиваются на 30—70%.

Максимально наблюденная величина R на целине составляла в г. Карши 0,85 кал/см^2/мин., уже в первый год вегетации поднялась до 1,127 кал/см^2/мин., затем еще несколько возросла. 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, достигая превышения над R на 10—22%.

Обращает на себя внимание, что испаряемость изменяется более резко, чем суммарное испарение. Пропорционально испаряемости снижается только физическое испарение, а транспирация, уменьшаясь обратно пропорционально влажности воздуха, увеличивается благодаря росту массы вегетативных органов и соответственно урожайности.

Из климатических изменений динамика силы ветра относится к стабильным управляемым факторам, изменяющимся в положительную сторону. Величина снижения силы ветра в приземном слое, наблюдаемого при переходе от пустыни к орошаемым оазисам, по данным Н. Г. Петрова, достигает 20%. В отличие от В. Мэрдока и ряда других зарубежных исследователей установлено, что орошение снижает скорость ветра приблизительно вдвое, при этом снижение происходит как бы в два этапа (рис. 9): первые два-три года орошения скорость ветра уменьшается на 30—40%, а затем оставшиеся 10—20% снижаются постепенно в течение длительного перио-

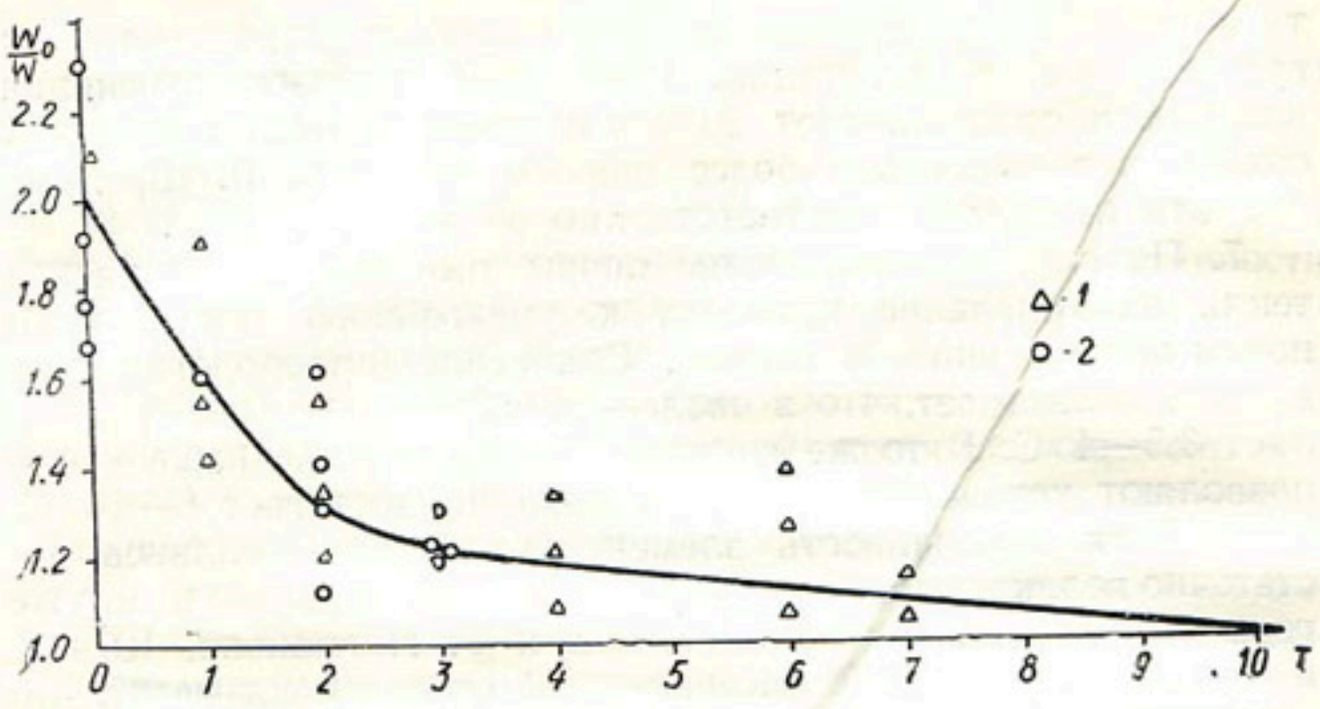

Рис. 9. Изменение скорости ветра по мере орошения земель:
1 — Голодная степь; *2* — Карши.

да — 7—10 лет. Начальное снижение скорости ветра связано с возникновением сопротивления в виде сплошного растительного покрова, который уменьшает силу ветра в месяцы развитого стояния растений (июль—сентябрь), последующее снижение — с ростом древесной растительности, резко уменьшающей силу ветра, и на больших высотах. Если учесть, что сила ветра во многом определяет величину испаряемости и испарения, то отсюда ясно его положительное значение для уменьшения водопотребления, уменьшения подтяжки солей и т. д., снижения вредного воздействия на произрастание отдельных сельхозкультур. Однако это явление управляемое, ибо на него активно воздействует рост древесной растительности, особенно лесополос, вокруг целинных полей.

Разработанные лесомелиораторами (Н. Г. Петров, А. И. Молчанова и др.) конструкции лесных полос для степных и пустынных зон позволяют снизить скорость ветра на полях в пределах поливной карты (300—400 м) до 20% и более. При этом необходимо обеспечить высоту полос в пределах 10 м при ажурной и продуваемой конструкции.

Опыт совхоза «Пахтаарал», а затем хозяйств в юго-восточной части Голодной степи (совхоз «Фархад», г. Янгиер и др.) показывает, что следует подбирать быстрорастущие породы деревьев — тополь Боле с подсадкой в другие ряды, устойчивых деревьев — ясеня пенсильванского, лоха, акации белой. При этом достигается снижение ветровой активности в зоне 30—40-кратной высоты полос до 30%.

УПРАВЛЕНИЕ ПОЧВООБРАЗОВАТЕЛЬНЫМИ ПРОЦЕССАМИ — ОСНОВА ПРАВИЛЬНОЙ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ НАПРАВЛЕННОСТИ ОСВОЕНИЯ

Пустыни и полупустыни характеризуются небольшим объемом фитомассы, который резко увеличивается при развитии орошения. Годичный объем фитомассы на необрабатываемых массивах Голодной степи составлял в опресненных почвах 1,2—2,1 ц/га, в засоленных — 2,7—4,0 ц/га, на богарных посевах пшеницы — 3,1—6,3 ц/га. В Каршинской степи эти цифры еще ниже — соответственно 1,7; 1,9—2,3; 2,6—5,1 ц/га. В Аштской степи на пустынных щебенистых почвах с опресненным верхним профилем объем фитомассы составлял до орошения всего 0,1—0,5 ц/га; этот же объем наблюдался на такырах и в песках Каракалпакии. Только на встречающихся пятнами зарослях саксаула, джангила объем фитомассы возрастает до 10,0 ц/га, хотя на отдельных микроучастках имеется и до 40,0 ц/га.

После начала орошения объем фитомассы резко возрастает — до 16,0—40,0 ц/га в первые два года, до 60—80 ц/га в последующем. Соответственно объем корневой массы увеличивается на два порядка 7,5÷20,0, а в последующем — 28,0÷45,0 ц/га. Все это приводит к резкому усилению биологической активности в верхней толще почвогрунтов, что наряду с развитием микроорганизмов способствует развитию и формированию почв при орошении (В. А. Ковда (25) приводит средний объем фитомассы в таких условиях 43 ц/га при объеме корней 3—30 ц/га).

Орошение резко активизирует микрофлору почвы. Известно, что благодаря деятельности микроорганизмов осуществляется превращение органических и минеральных соединений азота в форму, усваиваемую растениями. Часть атмосферного азота также связывается микроорганизмами. Аммоний, вносимый в почву в виде минеральных удобрений и минерализуемых органических удобрений, под действием нитрифицирующих бактерий превращается в соединения азотной кислоты. Одновременно денитрифицирующие бактерии восстанавливают нитраты. Белок, например, может превращаться в аминокислоты под действием аэробных и анаэробных бактерий, грибов и актиномицет.

Многочисленные исследования, проведенные в Институте почвоведения и агрохимии АН УзССР, показывают, что целинные почвы за исключением сероземов на лессах не имеют необходимой активности микрооорганизмов. Почти нулевую активность имеют в отношении нитрофицирующей способности солончаки, где нитрифицирующие бактерии подавлены полностью при содержании хлоридных солей более 0,3%. Более солеустойчивы азотобактер и аммонификаторы.

Проведенные исследования серо-бурых почв Каршинской степи под руководством проф. Э. Г. Вухрера показывают, что микроорганизмы в условиях необрабатываемой целины имеют очень слабое развитие за исключением актиномицетов во всех горизонтах почвы. Нитрифицирующие бактерии на целине отмечаются только 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.

Это же видно 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 почвенного 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 почти всех видов целинных почв, кроме сероземов, необходимо стремиться к максимуму сохранения поверхностного почвенного слоя за счет соответствующего развития поливной техники, а на сероземах следует ограничить планировку слоем 50 см либо перейти к кулисной планировке.

Аридные и полуаридные зоны, по данным В. А. Ковды, характеризуются огромным объемом радиационного баланса — 50—80 ккал/см²/год, из которого в условиях естественного увлажнения на почвообразование расходуется менее 3—6%. Известно, что по В. Р. Волобуеву (8) суммарные затраты энергии на почвообразование могут быть выражены как

$$Q = Re^{-0{,}47\frac{1}{K_п}}$$

где R — радиационный баланс;

e — основание натуральных логарифмов;

$K_п$ — коэффициент относительной увлажненности, равный отношению осадков к испаряемости $\left(K_п = \frac{Q_c}{E}\right)$.

Учитывая, 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, соответственно значительно (в несколько раз) возрастает и энергия почвообразования при орошении. Наряду с этим увеличивается в несколько раз объем фитомассы растительного слоя и начинается интенсивное развитие микроорганизмов. Таким образом, увеличение увлажнения в сочетании с усилением биологической активности, привносом наносов, интенсификацией обработок, внесением минеральных удобрений, улучшением условий аэрации при нормальной естественной или, где это необходимо, искусственной дренированности приводит к своеобразному интенсивному развитию почвообразовательных процессов на вновь орошаемых землях. Динамика этих процессов подробно рассмотрена в работах В. А. Ковды, В. В. Егорова, И. С. Рабочева, В. Р. Волобуева, С. Н. Рыжова и в определенной степени обобщена в совместной работе В. В. Егорова, В. А. Ковды и Н. Г. Минашиной (21) и в монографии Н. Г. Минашиной (31). Хотя они и указывают, что «...не может быть однозначного ответа на вопрос, как изменяется уровень плодородия под влиянием даже одной и той же системы орошения», но своими исследованиями и обобщениями убедительно доказывают, что на любых почвах можно добиться высокого плодородия, все дело в дифференцированных подходах и приемах освоения. При этом справедливость такого положения доказана на примере как естественно плодородных почв, таких как сероземы, так и низкопродуктивных, как пески, такыры, солончаковые, болотные и другие почвы. С учетом этих работ, особенностей условий развития орошения в Средней Азии, классификации почв, разработанной Н. Н. Розовым, Е. Н. Ивановой, Б. В. Горбуновым, Н. В. Кимбергом, И. Н. Степановым, а также обобщения материалов почвенных исследований институтов «Средазгипроводхлопок» и САНИИРИ составлена табл. 6, в которой приведены характеристики почв районов нового орошения в Средней Азии на основе классификации Н. Г. Минашиной.

Высокоплодородные в естественном состоянии до орошения почвы представлены только сероземами, распространенными на адырах подгорной части Ферганской долины, Гиссарской долины, Кураминского хребта, Нуратинской и Фаришской степях, части II очереди Каршинской степи, а также болотно-луговыми почвами неосвоенной части пойм рек Сырдарьи, Амударьи. За ними по естественному плодородию идут типичные аллювиальные и луговые солончаки, отличающиеся высокой степенью засоления, но в то же время и довольно

Таблица 6

Характеристика почв районов развитого орошения Средней Азии

№ п/п	Наименование комплекса и класса	Засоление	Содержание в метровом слое, т/га				Водопроницаемость почв, м/сут.	Показатель увлажненности $\frac{O_c + U_2}{E}$
			гумус	P	N	K		
	1. Сероземы							
	а) обыкновенные	Нет	25—83	2—7,5	9,5—24	15—380	0,5—3,0	0,2 ÷0,35
	б) темные	Нет	60—128	5—12	11,6—31	24—470	0,7—3,5	0,15÷0,30
	в) светлые	Хлоридно-сульфатное	20—67	1,8—7	4,2—17	6—210	0,6—3,5	0,12÷0,27
	г) северные	Нет	12—30	3—10	6—20	18—300	0,5—3,0	0,15÷0,3
	2. Почвы пустынных равнин							
	г) такыровидные	Натриево-хлоридное	20—90	1,0—5	3—15	10—200	0,1—0,3	0,11÷0,20
	а) то же древнеорошаемые	»	30—110	1,5—6	5—18	18—280	0,2—0,5	0,07—0,15
	б) такыры	»	18—60	0,5—3	1,5—6	5—130	<0,05	0,07—0,20
	в) серо-бурые пустынные	Сульфатное	12—53	4,5—10,0	8—21	380—430	0,3—0,9	0,10—0,17
	г) лугово-пустынные	Слабое и среднее	16—82	2—11	7—18	75—240	0,1—0,5	0,18—0,35
	3. Почвы литоморфные							
	а) гипсоносные сероземы	Сульфатное Сильное	18—45				<0,3	0,12—0,25
	б) луговые сероземы	Слабое	60—120				0,2—0,6	0,30—0,55
	в) пустынно-песчаные	Нет	15—80				>0,8	0,05—0,15
	г) щебенистые	Нет	18—70	6—10,5	15—22	25—80	>1,2	0,10—0,28

Продолжение табл. 6

№ пп	Наименование комплекса и класса	Засоление	Содержание в метровом слое, т/га				Водопроницаемость почв, м/сут.	Показатели увлажненности $\frac{O_c + U_2}{E}$
			гумус	P	N	K		
	4. Почвы гидроморфные							
	а) болотно-луговые	Нет	60—240	12—48	6—24	140—380	0,05—0,2	0,60—0,75
	то же обсыхающие	Слабое	50—210	15—65	5—19	120—310	0,2—0,6	0,30—0,55
	б) аллювиально-луговые	Слабое и среднее	30—100	6—18,5	6—12	130—330	0,1—0,5	0,30—0,60
	в) аллювиально-лугово-тугайные	»	50—80	6—18	3—11	85—305	0,5—1,5	0,30—0,60
	г) » болотно-луговые	»	60—150	3—15	7—15	105—360	0,3—1,0	0,10—0,60
	д) солончаки аллювиально-луговые	Хлоридно-сульфатное	80—160	3—12	2—18	45—310	0,2—0,7	0,20—0,45
	е) солончаки сазовые	»	40—105	0—12	3—12	40—280	0,1—0,7	0,30—0,55
	ж) » остаточные	Хлоридно-сульфатное. Натриево-хлоридное	30—86	0—9	2—9	31—205	0,1—0,5	0,10—0,45
	з) » приморские	Хлоридно-сульфатное	45—62	0—11	3—12	105—310	0,1	0,20—0,65
	и) » вторичные	Сульфатно-хлоридное	20—75	4—15	3—8	120—300	0,15—1,0	0,30—0,55
	5. Орошаемые почвы							
	а) недавно орошаемые	Разные	15—45	3—20	6—20	150—280	0,5	0,05—0,20
	б) оазисноорошаемые	»	30—0,70	6—31	9—75*	160—370	0,2—0,5	0,20—0,45
	в) древнеоазисные	»	30—120	1,5—15	11/35	80—210	0,05—0,3	0,05—0,35
	г) оазисные залежные	»	40—70	2,1—12	8—23	55—330	0,2 —1,0	0,15—0,40
	д) антрогенные бугров.	»	21—65	1,8—21	3—9	140—430	0,15—0,2	0,15—0,30
	е) остаточные	»	15—45	1,1—10	1,2—7	30—105	0,4 —0,9	0,05—0,50

высоким содержанием гумуса. Первые типы почв не требуют особых почвенно-мелиоративных мероприятий для своего усиленного развития, обычно они быстро набирают проектную урожайность культур, очень отзывчивы на фосфор и азотные удобрения, отличаются большим запасом калия, хорошими водопроницаемыми свойствами. Для сероземов, особенно распространенных в подгорных долинах, на высоких речных террасах, склонах, должны быть предусмотрены меры для сохранения их высокого плодородия от эрозионного разрушения, недопущения их перемещения в крупных масштабах и, как подчеркивает Н. Г. Минашина, вскрытия на поверхности солеиосных и гипсоносных малопродуктивных пластов. Такие факты имели место при освоении земель адырной зоны в Андижанской области, в подгорной равнине Джизакского веера и Дальварзинской степи. Аллювиальные и луговые солончаки, являясь также плодородными почвами, обычно в силу недостаточного естественного оттока грунтовых вод засолились и требуют для своего освоения освобождения от избытков солей путем дренажа и промывок. Эти промывки должны быть легкими и желательно тактовыми, без длительного затопления, чтобы сохранить высокое содержание гумуса в этих почвах и не нарушить благоприятную естественную структуру. Далее для таких почв важно сохранить полугидроморфный мелиоративный режим с тем, чтобы обеспечить сохранение питательных элементов и их пополнение в процессе орошения.

Большая 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 их требуют очень внимательного отношения к себе в процессе орошения, выработки дифференцированного комплекса инженерных и агротехнических мероприятий для превращения их в плодородные. Среди этих мер обязательными являются дренирование (за исключением пустынных песчаных почв), промывки, оструктуривание, окультуривание и посевы культур-мелиорантов с применением добавок и специальных удобрений. Характерным для этих пустынных почв является очень медленное нарастание продуктивности, постепенное формирование из пустынных почв новоорошаемых. По мнению Н. Г. Минашиной, этот процесс, как она называет, оазисного почвообразования (31), может длиться 20—30 лет, из них 3—10 лет — первичной мелиорации и 15—20 лет — последующего закрепления этого процесса.

Здесь необходимо подчеркнуть, 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-х 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 дает возможность сравнительно быстро повысить урожайность при осуществлении определенного комплекса агротехнических мероприятий.

Особо осторожного подхода требуют древнеоазисные, ранее орошаемые почвы, которые обладают достаточно высокими запасами гумуса, в то же время либо запесочены с поверхности, либо сильно засолены и отличаются направленностью механического состава в зависимости 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 дать быстрый рост продуктивности и восстановить плодородие.

Опыт освоения крупных массивов орошаемых земель в Средней Азии также подтверждает справедливость указанных положений. Так, в Голодной степи наряду с естественно плодородными почвами сероземного типа, где, как это показано исследованиями А. Н. Розанова, С. Н. Рыжова, С. Н. Сучкова и др., за счет участия агроирригационных наносов в процессах опесчанивания и оглинения, увеличения запасов гумуса при правильной агротехнике, применении минеральных и органических удобрений, естественное высокое плодородие еще более увеличивается, освоены значительные площади солончаковых лугово-болотных и песчаных очень низкоплодородных 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 галечниковых почвах, а в низовьях Каракалпакии и зоне Каршинского канала осваиваются песчаные массивы подвижных песков и запесоченные такыры. Успешно осваиваются такырные почвы Тедженского оазиса, такыры и пески Хорезмского оазиса. Разработка комплекса мелиоративных и агротехнических мероприятий, приведенных ниже, позволила и здесь добиться получения высоких урожаев хлопка-сырца в несколько более продолжительные сроки.

При дифференцированном определении необходимых мер следует учитывать специфические недостатки таких почв, например:

— для такыров — наличие солей, чаще щелочей, дисперсность, плохая водопроницаемость, наличие глыбистых горизонтов, низкое содержание гумуса, азота и фосфора;

— для пустынных песчаных почв — отсутствие связности, рыхлое сложение, исключительная бедность органического вещества (гумус $<0{,}5\%$), почти полное отсутствие азота и фосфора, подверженность ветровой эрозии.

Дифференцированные комплексы мероприятий по освоению различных видов почв приводятся в главе IV, где также анализируются темпы роста продуктивности земель в процессе освоения.

Обобщение характеристик почв аридной зоны, их механических составов, содержания питательных веществ (рис. 10, 11) дает возможность при освоении новых земель разделить их на две группы: сохраняющие свой класс, тип и изменяющие их под действием мелиоративных процессов.

В первую группу должны быть отнесены почвы 1 класса; 2а; а^1; 3а, б; 4а — 4 г. Эти почвы характеризуются благоприят-

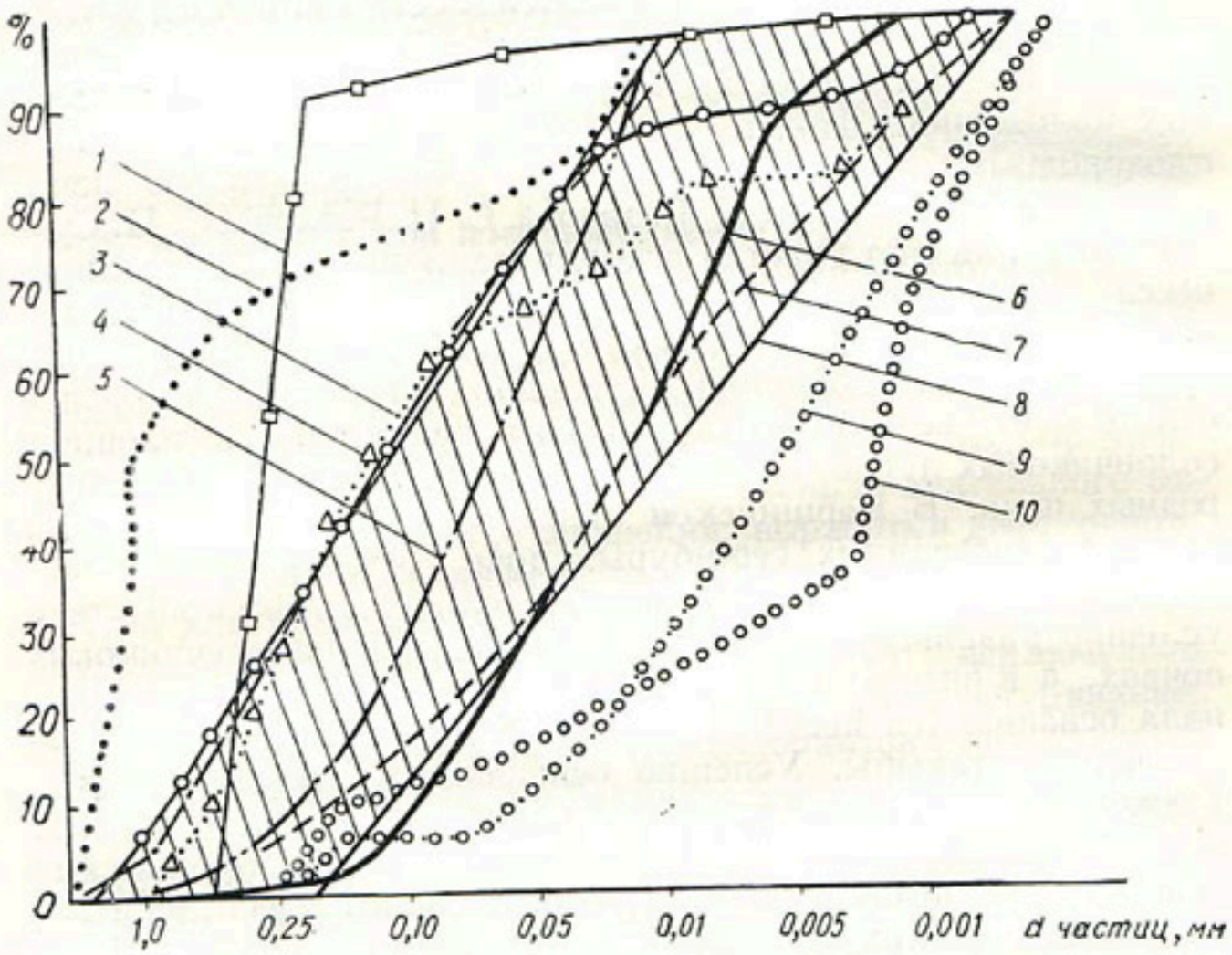

Рис. 10. Механический состав типичных почв Средней Азии и зона оптимального состава:

1 — пустынные песчаные, *2* — щебенистые, *3* — серо-бурые, *4* — орошаемые болотно-луговые, *5* — светлые сероземы, *6* — типичные аллювиальные, *7* — староорошаемые сероземы светлые, *8* — лугово-пустынные, *9* — такыровидные, *10* — такыры.

ным механическим составом, укладывающимся в заштрихованную область, которая обычно стабильно сохраняется в почвах с довольно высоким естественным плодородием. Остальные почвы отличаются крайне неудовлетворительным механическим составом, который необходимо улучшить в процессе орошения либо добавляя мелкозем, или проводить кольматацию (почвы 1—2), либо оструктуривание или пескование (почвы 9—9а на рис. 10). Большинство улучшенных по механическому составу почв переходит в класс V — «орошаемых почв».

Кроме того, почвы должны быть подразделены на почвы с глубоким однородным сложением по плодородию и микробиологической активности, которые могут быть подвергнуты планировке, или почвы с явно выраженным верхним плодородием, которое надо углублять либо сохранять (рис. 11). 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 сохраняется только до 0,5 м. При серо-бурых, орошаемых болотно-луговых и других почвах класса 4аг нельзя вообще делать планировку, а необходимо постепенно в процессе освоения углублять имеющееся естественное плодородие.

Таким образом, необходимо первоначально установить возможную направленность почвообразовательного процесса, а далее на основе этого — тип мелиоративного режима, вид техники полива, дренирования, а не наоборот, как у нас это зачастую делается.

Механический состав совместно с запасами питательных веществ является первой, наиболее наглядной, но не исчерпывающей характеристикой почв, которую надо использовать для оценки направленности почвообразовательного процесса при орошении.

Нам представляется, что это направление должно быть развито с использованием детальных почвенных исследований с учетом агрегатного состава, общей удельной и внутренней поверхности почв, определяющих капиллярные их свойства, и т. д.

Наряду с направленностью почвообразовательного процесса следует иметь в виду изменение водно-физических свойств почвогрунтов. Эти изменения происходят как в связи с повышенным увлажнением их, так и в связи с вторичными процессами, вызванными этим увлажнением, как, например, динамикой процессов соленакопления в них. Характер этих изменений довольно разнообразен:

а) увеличение сжимаемости грунтов под действием бытовой

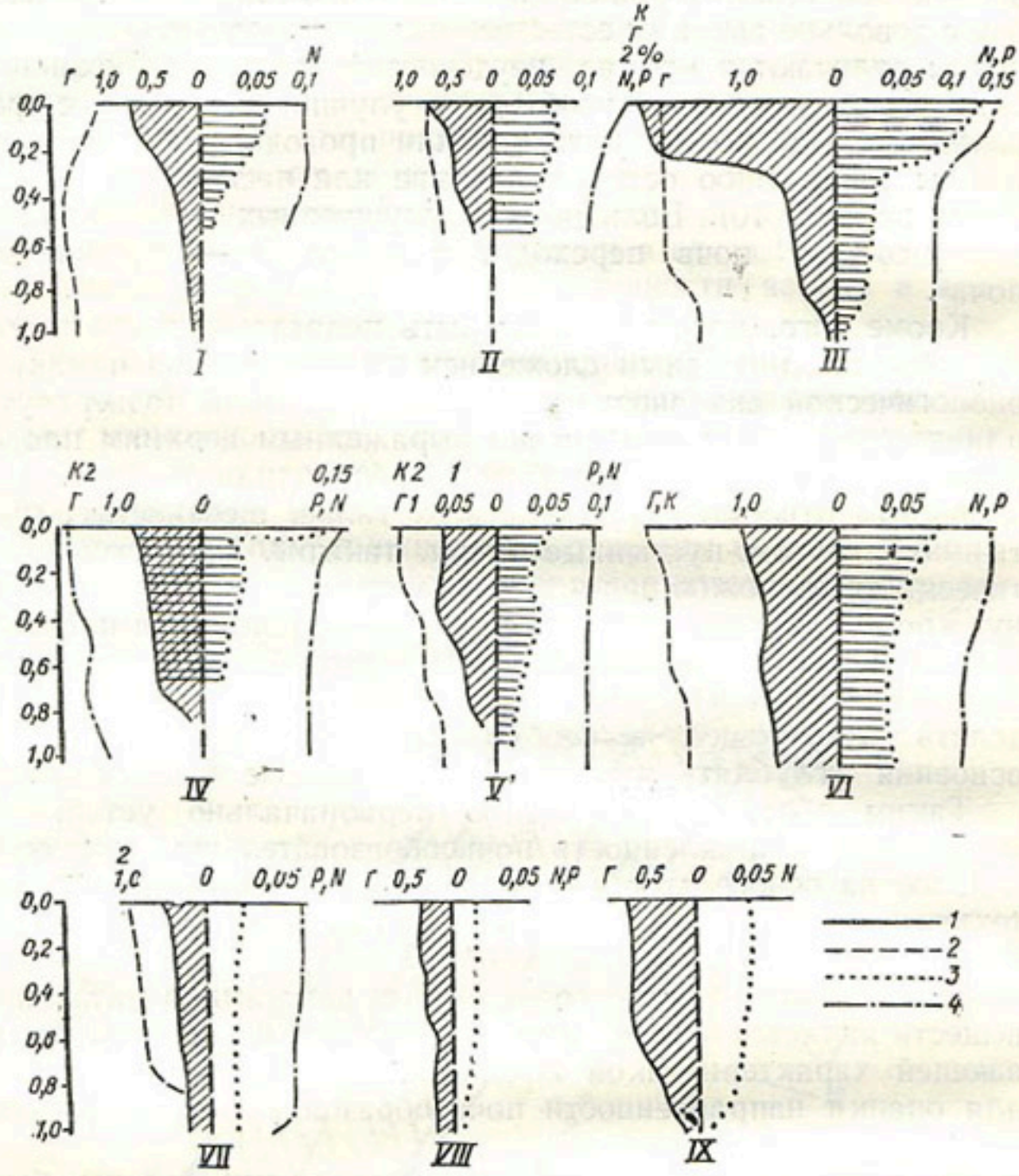

Рис. 11. Запасы естественных питательных веществ в почвах Средней Азии:

I — серо-бурые; *II* — щебенистые Ленинабадской области; *III* — орошаемые болотно-луговые Центральной Ферганы; *IV* — светлые сероземы Голодной степи; *V* — типичные аллювиальные солончак — сазовые Голодной степи; *VI* — староорошаемый светлый серозем Голодной степи; *VII* — лугово-полупустынные Центральной Ферганы; *VIII* — пустынные песчаные Каршинской степи; *IX* — такыр Кыркызского массива; *1* — гумус, *2* — калий, *3* — азот, *4* — фосфор.

нагрузки в результате увлажнения (просадочность I типа по А. Р. Рубинштейну);

б) увеличение сжимаемости грунтов в результате постепенного снижения цементационных связей частиц грунта под влиянием увлажнения (просадочность III типа по А. Р. Рубинштейну);

в) уменьшение пористости, коэффициентов фильтрации и уменьшение объемного веса под действием явлений *а* и *б*;

г) увеличение пористости, коэффициентов фильтрации под влиянием химической и механической суффозии частиц, главным образом в мелкопесчанистых и илистых грунтах с возможным образованием пустот, особенно в гипсоносных грунтах;

д) снижение водопроницаемости и потеря агрегатной структуры почвогрунтов, возникновение явления слоистости под действием длительной подачи воды в суглинистых грунтах;

е) уменьшение водопроницаемости и структурности под влиянием засоления почвогрунтов солями натрия, бора и др.;

ж) кольматация песчаных и супесчаных грунтов при орошении.

Большинство этих явлений предотвратить не удается, но их надо учитывать при инженерном проектировании и строительстве объектов:

пункты *а* и *б* — для разработки специальных мер по предотвращению или, наоборот, провоцированию просадок либо приспособлению к ним конструкций сооружения;

пункт *в* — при фильтрационных и прочностных расчетах на перспективу, проверяя достаточность дренажа при сниженных коэффициентах фильтрации или прочность конструкций, находящихся под землей, например труб, под действием увеличивающейся нагрузки грунта.

Просадкам посвящены большие исследования, особенно в Средней Азии — В. Ф. Булаевского, Е. А. Замарина, Г. А. Мавлянова, А. Р. Рубинштейна, М. П. Кузьминова, Х. А. Аскарова и многих других, поэтому мы на них останавливаться подробно не будем.

Однако, кроме просадок в общепринятом смысле слова под действием орошения, наблюдаются изменения плотности, пористости, коэффициентов фильтрации и других водно-физических свойств грунтов.

Плотность скелета неорошаемых почвогрунтов большей частью в аридной зоне колеблется от 1,25 до 1,50 кГ/см^3, а на орошаемых землях — 1,4÷1,65 кГ/см^3. Р. А. Баер и др. (4) отмечают, что по орошаемому югу Украины увеличение объема веса скелета составляет 10%, пористость уменьшается на 11—12%, число пластичности — на 12%.

Как показали исследования, в непросадочных грунтах плотность грунтов при орошении уменьшается на 3—15%, пористость на 2—11%, коэффициент фильтрации на 0—30% в Голодной степи и почти в 3 раза в Каршинской степи, причем эти изменения происходят в течение 2—3-х лет после начала орошения (табл. 7, 8).

Таблица 7

Изменение водно-физических свойств непросадочных грунтов в совхозе № 24 Каршинской степи при орошении*

Грунт	Горизонт, см	Удельная масса, кг/м³	Объемная масса, кг/м³			Пористость, %			Наименьшая влагоемкость		Коэффициент фильтрации, м/сут		
			1974	весна 1977	осень 1977	1974	1977 весна	1977 осень	1974	1977	1974	1976	1977
Песок	20	2,55	1,35	1,31	1,30	47,1	48,7	48,9	15,5	18			
	30	2,40	1,33	1,39	1,40	44,6	42,0	41,9	10,5	14,5			
Супесь	60	2,55	1,36	1,43	1,43	46,7	43,9	43,9					
Суглинки	90	2,64	1,39	1,52	1,52	47,8	42,5	42,5	17,5	19	0,91	0,20	0,26
»	120	2,64	1,40	1,54	1,59	47,07	41,6	41,6	19,5	24			
»	150	2,64	1,39	1,49	1,50	47,3	43,5	43,1					
»	180	2,64	1,39	1,43	1,43	47,3	45,5	45,5					
Супесь	210	2,55	1,37	1,40	1,40	46,3	45,1	45,1					

* Данные Ш. Зиятдинова.

Таблица 8

Изменение осредненных воднофизических свойств грунтов под действием орошения в Голодной степи

№ слоя	Глубина, м	Объемная масса, кг/м³		Исходная влажность	Коэффициент пористости		Коэффициент фильтрации, м/с	
		до орошения	после орошения		до орошения	после орошения	до орошения	после орошения
1	0,3	1,410	1,460	8,7	1,06	0,946	0,36	0,31
2	1,2	1,370	1,440	6,0	1,06	0,952	0,44	0,33
3	4,1	1,570	1,580	16,8	0,879	0,579	0,33	0,30
4	6,0	1,780	1,780	27,1	0,866	0,866	0,23	0,23
	8,5	1,780	—	—	—	—	—	—

Учитывая, что для однородных грунтов зависимость фильтрационной способности от плотности выражается довольно однообразной кривой, можно для непросадочных грунтов применять коэффициент снижения плотности для суглинков с некоторым запасом — 12—15%, для супесей и песков — 6—7% и определить прогноз изменения коэффициента фильтрации. Для просадочных грунтов плотность после просадки, а стало быть и коэффициент фильтрации, могут быть получены на основании расчетов.

При расчетах дренажа на эксплуатационный период необходимо проверить удовлетворительность работы дренажа при сниженных коэффициентах фильтрации;

пункт *г* — при прогнозах фильтрационных потерь из каналов, размещения дренажа и т. д. Неучет этого явления иногда приводит к катастрофическим последствиям — прорывам каналов и дамб. Характерен пример ЮГК. Здесь грунты ложа канала на участке от ГК 435 до ГК 790 были представлены сильно загипсованными супесями и суглинками с содержанием гипса до 35%. В результате постепенного растворения гипса в грунте канала наблюдалось увеличение потерь воды из канала, что видно из данных табл. 9.

Таблица 9

Удельные потери на 1 км канала в л/сек/км по годам

Участок канала, ГК	1962	1967	1971	1974
330—624	50	54	64	72
624—735	58	220	251	163
735—923	87	124	196	151

Увеличение потерь особенно резко проявилось на участках № 2 и № 3 от ГК 624 до ГК 993 после того, как параллельно каналу были проложены открытые отсечные дрены. Увеличение градиента фильтрационного напора привело к проявлению механической суффозии от дрены, что в свою очередь усиливало химическое растворение гипсов. В результате на стенках открытых дрен появились сквозные отверстия диаметром до 20 см, напоминающие норы, на самом деле являющиеся результатом совместного действия механической и химической суффозии. Так как эти явления едва не привели к прорывам канала, были срочно разработаны меры борьбы в виде закрытия дрен с укладкой горизонтального трубчатого дренажа с фильтром (предотвращение механической суффозии) и устройства замков вдоль каналов, предотвращающих проницание линзы, методом отсыпки грунта в воду (ослабление химической суффозии).

Такие медленные темпы растворения характерны для аморфных гипсов (6—8 лет) Голодной степи, кристаллические образования основания серо-бурых почв Каршинской степи растворяются намного быстрее. Характерно при этом, что здесь прочность грунтов, сцементированных до орошения, после орошения в течение 2-х лет уменьшается в 8—10 раз. Если до орошения дренаж в этих условиях приходилось строить в грунтах, относимых по сложности разработки к V—VI категории, с применением взрыва, то после орошения через 2 года дренаж легко устраивали дреноукладчиками в условиях грунтов III категории.

Исследования А. Курбатова о загипсованных грунтах Каршинской степи показали, что из четырех типичных видов: слабоцементированного песчаника с содержанием солей 2—3%, опесчаненного гипса (n = 40—42%), песчаника, сцементированного солями гипса (n = 32—34%), алевролитов с прослойками песка (n = 10—12%) первый разрушается за 40 минут, второй за 4 месяца, а последние два не разрушились в течение года;

пункт *д* — снижение агрегатности, уменьшение водопроницаемости под действием длительной подачи воды — следует избегать. Однако такие явления неизбежны при капитальных промывках большой нормой при посевах риса. В этих случаях целесообразно применять структурообразующие добавки.

Работами УкрНИИГиМа, например, рекомендованы в качестве таких добавок для оструктуривания почвогрунтов после нескольких сезонов рисосеяния полиакриламиды, гидролизованный полиакрил натрия, которые увеличивают количество водопрочных агрегатов в 1,5—2 раза при дозе полимера 2,75 т/га.

В нашей практике нашли применение структуры *К-4*, *К*-9, а также лигнин и полимерные сложные удобрения на базе метилкарбоаммофоса.

Аналогичные явления имеют место (пункт *а*) при засолении почвогрунтов, орошении солями натрия и осолонцевании почв. Для борьбы с такими явлениями Л. Бернштейн применяет винилацетатный поликислотный сополимер (УАМА), Х. Питерсон — крилиум (натриевую соль гидролизного полиакрилонитрила).

Очень важен учет кольматации песчаных и супесчаных грунтов при орошении (пункт *ж*). Дело в том, что оросительная вода, особенно в аридной зоне, несет значительное количество взвешенных наносов со средней крупностью менее 0,01 мм. Несмотря на то, что величина взвешенных наносов очень разнится по времени года и различным рекам и на эту величину сильно влияет зарегулирование стока рек, мутность остается довольно высокой — от 2 до 9 г/м^3 (табл. 10).

Повышенная мутность рек способствует кольматации земляных каналов, которая 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, таких как Амубухарский, Ульяновский каналы в Каршинской степи, Каракумский в районе Келифских озер с расходами от 60 до 400 м^3/сек. Устойчивость их антифильтрационного эффекта определяется постоянным поддержанием во влажном состоянии наилка и слоя кольматанта.

Другое важное практическое значение этого явления состоит в улучшении структуры и плодородия всех видов почв, как-то: супесчаных, песчаных пустынных и такыровидных. Первоначально, как отмечает Н. Г. Минашина, даже в сероземах происходит быстрое разрушение структуры неорошаемых почв вследствие выщелачивания гумуса, распада почвенных коллоидов. Здесь 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, калий и кальций в размерах соответственно 20, 1000 и 4500 кг/га.

Ценным свойством воды почти всех рек Средней Азии является высокое содержание карбонатов. Благодаря геоморфологической структуре зон стокообразования, представленных известняками, мергелями, мраморами, доломитами, а в долинной части лёссовыми и лёссовидными породами, карбонаты кальция перемещаются в воде рек как во взвешенном

Таблица 10

Характеристика наносов основных рек Средней Азии (по Н. Г. Кузнецову)

Река	Пункт отбора	Содержание наносов, г/м³			Среднегодовой расход стока 50% обеспеченности, млрд. м³	В т. ч. используется на орошение, млрд. м³	Содержание $CaCO_3$, г/м³	Сумма частиц <0,01 мм, %	Поступление с оросительной водой, т/га	
		среднее	межень	паводок					наносов	карбонатов
Атрек	Кзыл Атрек	25 000	8000	25 900	0,2	0,2	7700	78,1	141,1	60,3
Теджен	Ата	15 000	9100	16 500	0,8	0,8	2910	43,2	65,1	12,6
Мургаб	Тахтабазар	4 440	2490	5 100	1,5	1,5	666	62,0	27,3	4,14
Амударья	Керки	3 800	1500	4 650	63,6	38,3	760	58,5	44,5	9,1
Бартанг	Устье	1 010	50	1 270	4,1	—	97	50,0	3,1	0,3
Ванч	п. Ванч	1 590	40	1 740	1,6	—	111	20,3	2,0	0,12
Кзылсу	п. Саманчи	6 300	3540	7 800	2,5	0,4	643	20,7	7,1	0,68
Туполанг	п. Зарчоб	310	190	333	1,6	0,7	21,4	10,4	0,34	0,03
Варзоб	п. Даганы	1 760	190	360	1,5	1,0	17,0	17,9	2,5	0,02
Вахш	п. Таткаул	4 500	610	5 170	19,6	5,3	455	24,5	9,3	0,96
Зарафшан	п. Дупули	840	82	1 070	5,1	4,7	126	52,9	6,8	1,88
Нарын	п. Токтогул	1 600	290	1 840	1275	7,3	182	55,7	8,8	0,93
Карадарья	п. Кампыррават	1 700	61	2 560	3,8	3,2	—	39,6	5,0	—
Сырдарья	Каль	1 380	432	2 041	15,8	15,8	—	6,1	0,83	—
Акбура	Папан	320	70	330	0,6	0,5	29,0	12,6	0,28	0,05
Кугарт	Михайловское	1 400	370	2 230	0,6	0,3	80,0	11,0	1,1	0,6
Исфара	к. Таш-Курган	800	32	1 000	0,5	0,4	74,4	57,0	2,31	0,41

состоянии, так и в растворимом. Высокое содержание карбонатов кальция не только улучшает условия почвообразования в районах орошения, но и в значительной степени повышает предел возможного применения минерализованных вод, на что обращал внимание и И. С. Рабочев (40). Хотя почвы Теджженского оазиса, низовьев Амударьи не содержат такого большого количества сульфатов, карбонатов кальция, как почвы Каршинской и Голодной степей, но тем не менее и в них солеустойчивость культур такая же высокая, как и в Голодной степи. Хлопчатник, например, имеет предел применимости воды с минерализацией 1,5 г/л без заметного снижения урожайности в течение ряда лет (24). В связи с этим представляется необходимым не переосветлять воду в каналах оросительных систем, ибо таковая тенденция лишает почвы орошаемых земель питательных элементов.

С этой точки зрения целесообразно обеспечить скорость в каналах в пределах 0,7—1,2 м/сек, при которой основная масса взвешенных наносов транспортируется.

Одновременно необходимо учитывать запасы в командовании каналов в связи с повышением отметок земли в зонах отложения наносов. По нашим наблюдениям, в низовьях Амударьи на рисовых системах Каракалпакии за 10 лет темпы роста орошаемых площадей по отметкам составляют до 6 см, а на хлопковых массивах—4 см.

Здесь запасы в отметках водовыпусков в чеки на рисовых системах должны быть не менее 1 м, а на хлопковых полях — 50—60 см.

ИЗМЕНЕНИЕ ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ И РЕЖИМА ВЛАЖНОСТИ ЗОНЫ АЭРАЦИИ

Основные нестабильные управляемые изменения (см. п. 11—16 табл. 4) зависят от взаимодействия воды, забираемой из источника орошения, с орошаемым массивом (рис. 12) по сравнению с исходным состоянием. Под его влиянием формируется ирригационный тип режима грунтовых вод. Характер этого 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 прилежащими и нижележащими водоносными горизонтами. При этом КПД системы и техники полива, промывная норма являются первично управляемыми факторами, а взаимосвязь грунтовых вод — следствием изменения уровня грунтовых вод на

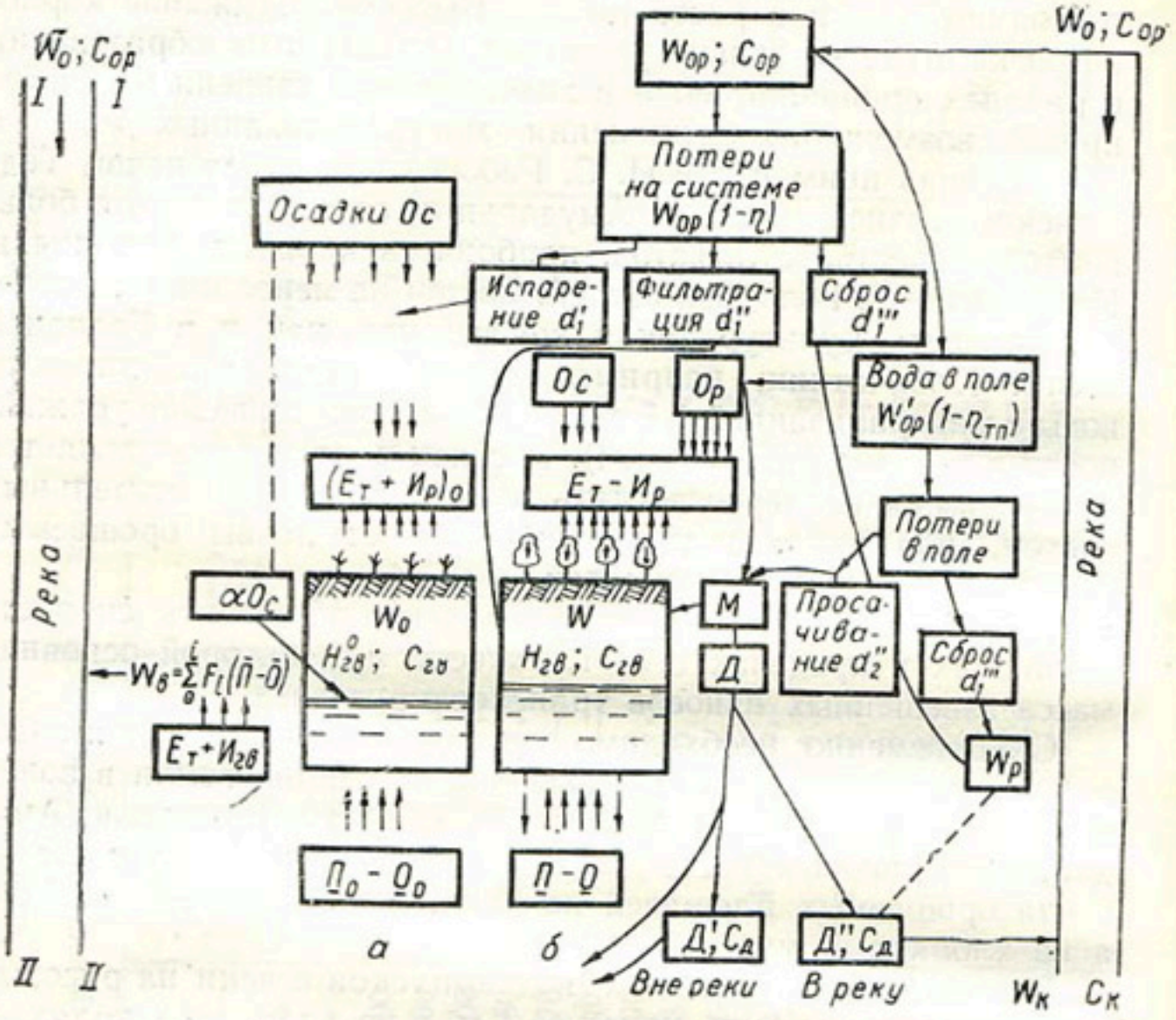

Рис. 12. Схема взаимодействия естественных и оросительных вод на орошаемом массиве:

а — до орошения; *б* — после орошения.

массиве, которые при необходимости могут регулироваться дренажем различного типа.

Для успешного управления всеми взаимодействующими факторами необходимо дать прогноз грунтовых вод в изменяющихся водохозяйственных условиях, для чего наиболее приемлем балансовый метод (49).

На рис. 13 приведены изменения баланса грунтовых вод для различных расчетных схем.

За основу принято воздействие оросительной воды, подаваемой в каналы и на поле в виде части объема, поступающей ниже корнеобитаемого слоя сверх полезно используемой.

$$O_р(1 - \eta mn)\, d_2'' + O_р \frac{1-\eta_с}{\eta_с} d_1''.$$

Из этого объема за интервал времени Δt часть воды поступает в грунтовые воды, часть идет на изменение влаж-

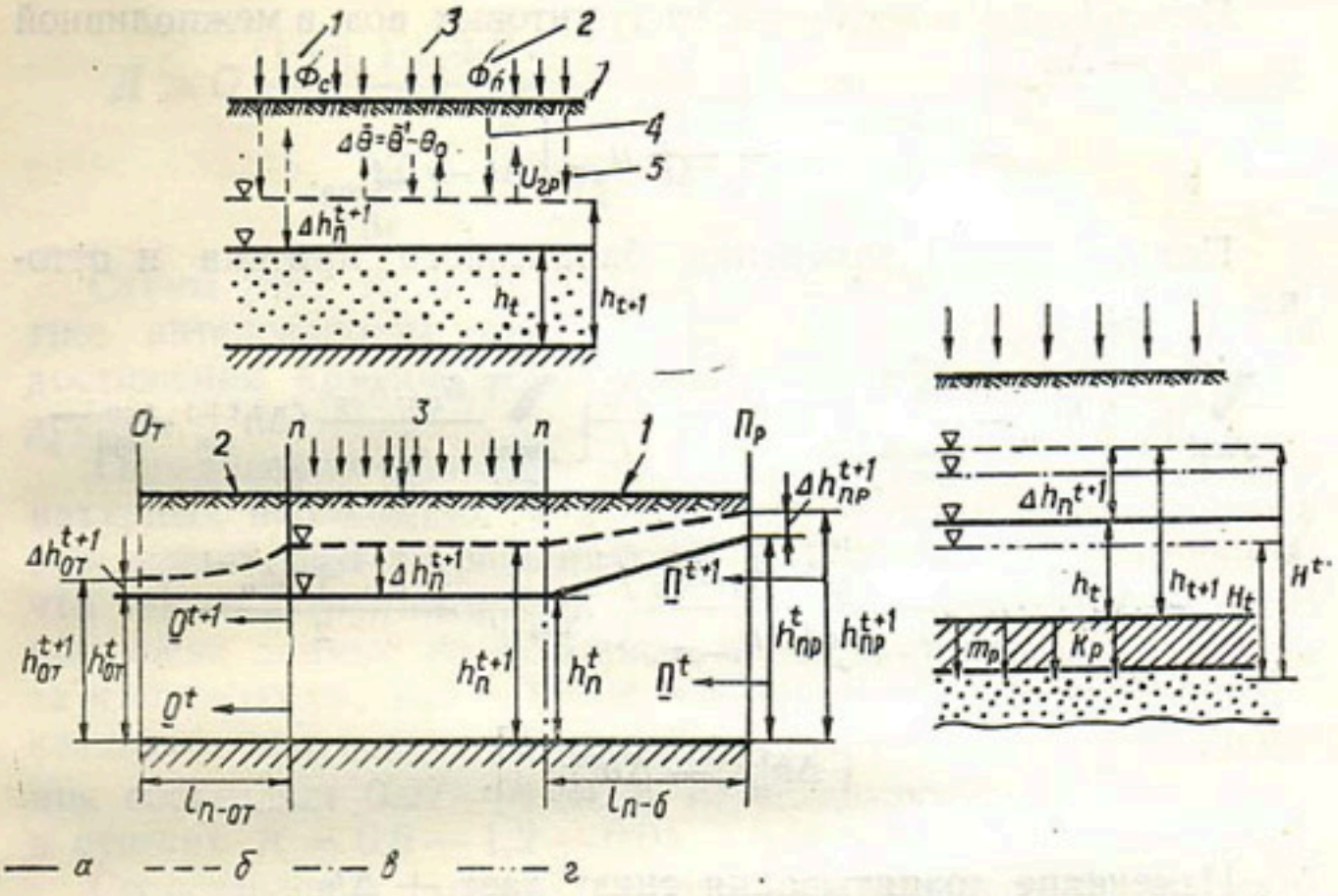

Рис. 13. Расчетные гидродинамические схемы:

а — до орошения; *б* — при орошении; *в* — линия пьезометрического напора до орошения; *г* — линия пьезометрического напора при орошении: *1* — фильтрационные потери из канала; *2* — инфильтрация в поле; 3 — осадки; *4* — изменение запасов влаги; *5* — подпитывание до грунтовых вод.

ности в зоне аэрации с θ_0^1 до θ^1. При проведении вегетационных и промывных поливов, когда влажность поверхностного слоя почвогрунтов высокая и имеют место нисходящие потоки влаги с уровня грунтовых вод, испарение либо отсутствует, либо очень незначительно.

Для определения изменения уровня грунтовых вод под влиянием орошения воспользуемся методом наложения отдельных составляющих баланса грунтовых вод. Определим изменение уровня — Δh под влиянием различных факторов отдельно.

Под действием фильтрационных потерь

$$\frac{\mu \Delta h_c}{\Delta t} = O_p \frac{1-\eta_c}{\eta_c} \cdot d_1''.$$

Под действием инфильтрации на поле $\Delta h_{пол}$

$$\frac{\mu \Delta h_{пол}}{\Delta t} = O_p (1-\eta_{mn}) \cdot d_2''.$$

Под действием осадков

$$\frac{\mu \Delta h_{oc}}{\Delta t} = \alpha O_c .$$

Под действием подпитки из грунтовых вод в межполивной период — $\Delta h_{игр}$

$$-\frac{\mu \Delta h_{игр}}{\Delta t} = -\frac{1}{\Delta t} u_{игр} \Big| \Delta t - \Sigma t_{пол}.$$

Под действием изменения балансового притока и оттока Δh_{n-0}

$$\sum_{i=1}^{n} \mu_i \Delta h^i_{\Delta n} - \sum_{j=1}^{n} \mu_j \Delta h^i_{\Delta o} = \frac{\Delta t}{F}\Big[\sum_{i=1}^{n} \frac{B^i_{пр} \cdot K^i_{ср}}{l^i_{n-0}} (\Delta h^{t+1}_{прс} \cdot h^{ср}_{прi} -$$

$$-\Delta h^{t+1}_{n} \cdot h^{ср}_{n}) - \sum_{o}^{n} \frac{\delta^j_{от} \cdot K^j_{ср}}{l^j_{n-от}} \Big(h^t_{отj} + \frac{\Delta h^{t+1}_{отi} + \Delta h^{t+1}_{n}}{2} \Big)$$

$$\Big(\Delta h^{t+1}_{n} - \Delta h^{t+1}_{nj} \Big)\Big].$$

Изменение подпитывания снизу дает $\pm \Delta h_p$

$$\mu \frac{\Delta h_p}{\Delta t} = \pm \frac{K_p \cdot F_p}{m_p \cdot F} (\Delta h^{t+1} - \Delta H^{t+1}).$$

Решение указанных уравнений относительно Δh_c; $\Delta h_{пол}$; $\Delta h_{ос}$ не представляет сложности. В остальных выражениях решение квадратично относительно Δh_{t+1}, действительное значение которого может быть найдено на основании факторного анализа-сопоставления величин Δh_{n-0}; Δh_p; $\Delta h_{игр}$ с результатами расчетов Δh_{t+1} по схемам.

На основе общего вида балансового уравнения, учитывающего гидродинамические факторы при орошении, можно определить условия поддержания уровня грунтовых вод на постоянных отметках*

$$O_p \frac{(1-\eta_c) d_1 + (1-\eta_{инп}) \cdot \eta_c \cdot d_2}{\eta_c} + \alpha O_c \pm \frac{\Sigma \Delta П}{\varphi} \leqslant \frac{\Delta \theta}{\Delta t} \cdot h_a + u_{гр}$$

$$\Big(1 - \frac{\Sigma t_{пол}}{\Delta t}\Big) + \frac{\Sigma \Delta O}{x} \pm \frac{\Delta P}{x}. \qquad (12)$$

Если естественный отток (0—II) не удовлетворяет этому условию, необходимо применять дренаж ($Д$ м³/га/сутки), величина которого с учетом промывной доли должна быть:

---

* Методика разработана совместно с канд. геолого-минер. н. И. А. Сорокиной.

$$Д \geqslant O_р \frac{(1-\eta_с)\cdot d_1^{''}+(1-\eta_{пп})\eta_с \cdot d_2^{''}}{\eta_с} + \alpha O_с \pm \frac{\Sigma\Delta П}{\varphi} + M -$$

$$- \frac{\Delta\theta}{\Delta t} \cdot h_а - u_{гр}\left(1 - \frac{\Sigma t_{пол}}{\Delta t}\right) - \frac{\Sigma\Delta O}{f} = \frac{\Delta P}{f}. \qquad (13)$$

Схемы рис. 13 и уравнения позволяют установить: прогноз интенсивности подъема уровня грунтовых вод, время достижения критического уровня, определить нагрузку на дренаж.

Определение величины растекания требует значительных натурных наблюдений и в процессе прогноза может быть определено либо по решению П. Я. Полубариновой-Кочиной, что также затруднительно, либо по аналогии. Многочисленные наши данные по Голодной степи, материалы института «Узгипроводхоз», наблюдения по новым зонам освоения показывают, что в суглинках с $K_ф = 0{,}1 \div 0{,}4$ уклон растекания составляет $0{,}02 - 0{,}06$, в переслаивающихся суглинках и супесях $K = 0{,}6 \div 1{,}2 - 0{,}01 \div 0{,}09$.

Сопоставление данных натурных наблюдений за скоростью подъема уровня грунтовых вод при орошении с расчетными по предполагаемым зависимостям показывает совпадение натурных и расчетных данных.

Известно по Д. М. Кацу, что под влиянием орошения в аридной зоне формируются в основном генетические режимы грунтовых вод, которые им отнесены 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 уровня грунтовых вод будут различаться.

По характеру изменения режима уровня грунтовых вод под влиянием орошения можно выделить несколько характерных видов их подъема:

1—естественная дренированность очень велика и доля питания грунтовых вод инфильтрационными токами в результате орошения незначительна настолько по отношению к оттоку, что уровень грунтовых вод остается стабильно неизменным по году $\left(\frac{\Delta O - \Delta П}{\varphi}\right)$ всей остальной части балансового уравнения (12);

2—в условиях естественного оттока грунтовых вод, недостаточного для периода промывок и интенсивных поливов, но компенсируемого в годовом разрезе, грунтовые воды остаются по году на прежнем уровне, но имеются пиковые подъемы в период промывок и поливов $\left(\frac{\Delta O - \Delta П}{f}\right)$ в годо-

вом разрезе больше остальной части уравнения, а в отдельные периоды меньше);

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

4 — в условиях бессточных с резкими подъемами уровня грунтовых вод в период вегетации и небольшим спадом в межвегетационный период.

Третий вид кривой, когда $\underline{О} \leqslant \underline{П}$ в течение года, а четвертый $\underline{О} \leqslant \underline{П}$ — во все его периоды;

5 — в условиях напорного питания грунтовых вод спад не происходит даже в вегетационный период;

6 — 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.

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, что наблюдалось Д. Жумановым в Каршинской степи и что способствует уменьшению глубинной инфильтрации при поливах. Аналогичные явления отмечает Р. А. Баер (4) и другие на юге Украины.

Действие развивающегося орошения на грунтовые воды в основном накладывается равномерно по площади при инфильтрации в поле и из мелкой оросительной сети. Влияние же крупных ирригационных каналов происходит сосредоточенно, создавая интенсивные бугры — потоки фильтрационных вод в грунтовые, которые при наличии водоносных слоев создают не только повышенный приток в зоне влияния канала (отсюда возникает необходимость усиления дренажа), но образуют вторичную напорность, которая распространяется на значительные расстояния. Впервые это явление подметил Н. Н. Ходжибаев (47). Нами прослежено влияние вторичной напорности ЮГК на землях Юго-восточного массива Голодной степи на расстоянии более 12 км от канала.

Вследствие этого к каналам, которые связаны с водоносными слоями, должны быть предъявлены повышенные требования к их антифильтрационным покрытиям, так как необходимо не только снизить фильтрацию из каналов, но по возможности свести к нулю или целесообразному минимуму всю вторичную напорность на подкомандной площади.

Исключительно связано с изменением уровня грунтовых вод изменение влажности зоны аэрации. Если до орошения

уровни грунтовых вод залегают глубоко, то 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 в подгорных долинах иногда 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, равно 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, который достигает, как мы указывали ранее, глубины не более 250 см, далее третий горизонт — устойчиво низкой влажности и четвертый — каймы.

Под влиянием орошения с исходными глубокими грунтовыми водами начинает интенсивно изменяться влажность зоны аэрации, при этом характер изменения влажности различается в зависимости от динамики грунтовых вод.

Для автоморфных условий с достаточной естественной дренированностью изменение влажности происходит только в верхней части толщи. В. Г. Гуссак и Я. М. Насыров наблюдали на типичном сероземе с глубоким залеганием уровня грунтовых вод изменение режима влажности. Если на целине под влиянием осадков промачивание достигает 2 м, то со второго метра до капиллярной каймы имеется горизонт постоянного иссушения с влажностью 5—8 %, соответствующей полуторной максимальной гигроскопичности. При орошении наблюдается создание горизонта подвешенной влаги на глубине 4—10 м с влажностью 18—22 % в течение всего года, опускаясь ниже до 15—17 %. Сезонным колебаниям влажности под влиянием поливов подвержена толща до 4 м.

Аналогичные данные получены В. М. Масленниковым на опытной станции НИСТО под Ташкентом (рис. 14) (73). Интересно, что по наблюдениям автора, изменение влажности на глубине 2—3 м зависит от способа полива — при бороздковом поливе влажность удерживается постоянно в пределах 16—18 %, а при дождевании, вследствие недостатка оросительной воды, снижается к концу вегетации с 18 до 14 %, выполняя роль источника питания растений (14 в).

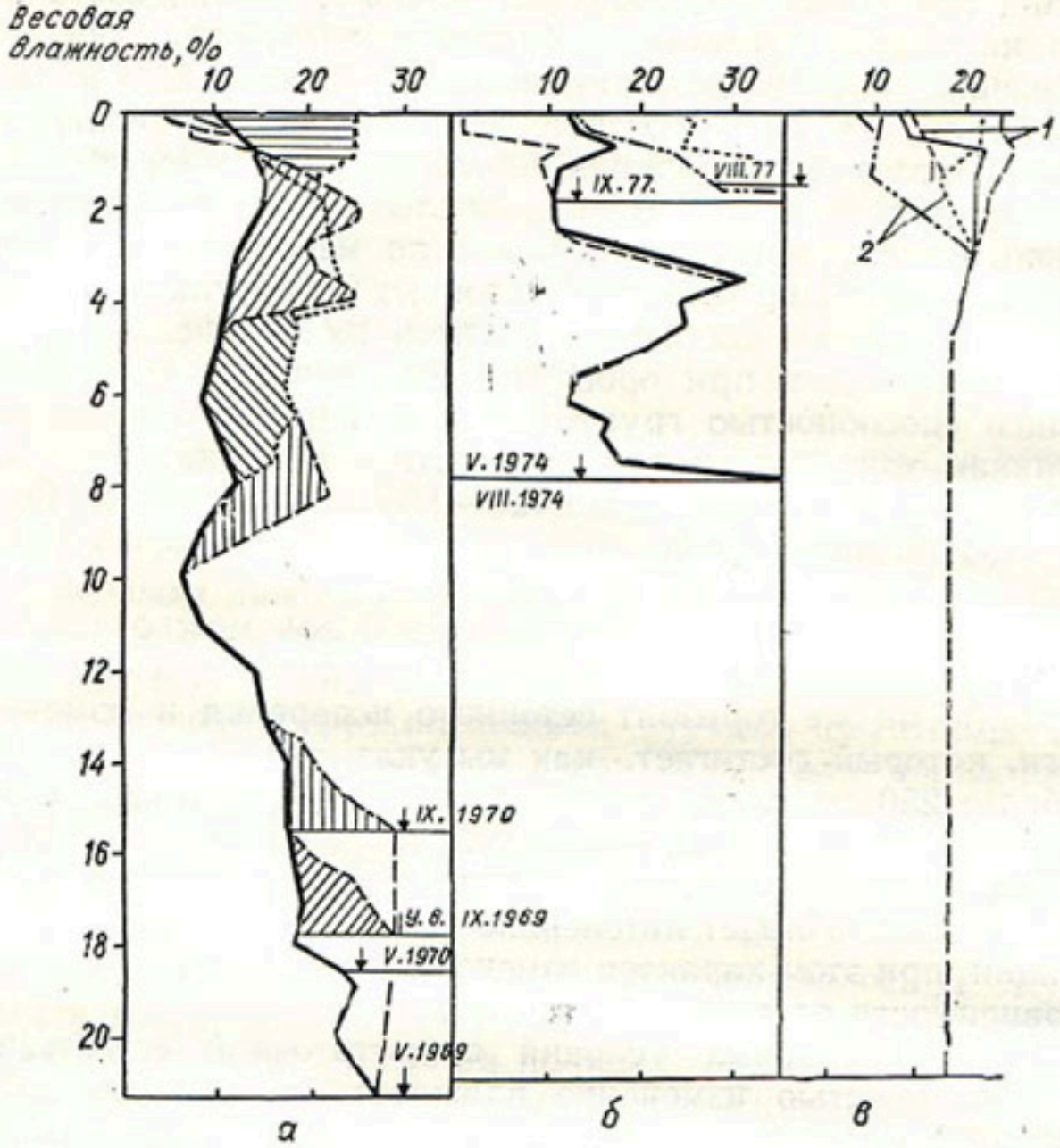

Рис. 14. Изменение влажности и уровня грунтовых вод при орошении: *а* — в Голодной степи; *б* — в Каршах; *в* — в Ташкентской области; *1* — борозды; *2* — дождевание.

При поднимающихся грунтовых водах увеличение влажности зоны аэрации происходит в двух направлениях: снизу вверх по мере подъема уровня грунтовых вод поднимается капиллярная кайма и сверху вниз увеличивается контур инфильтрирующейся подвешенной влаги до смыкания с капиллярной каймой снизу. На рис. 14 а приведены результаты наших наблюдений за изменением уровня грунтовых вод и влажностью зоны аэрации в целинной части Голодной степи и на рис. 14 б — изменение влажности зоны аэрации в Каршинской степи.

Как видно, в первый вегетационный период за счет инфильтрации увлажняется до влажности, соответствующей (ППВ) — НВ, 4,5-метровая толща; последующими осадками вне вегетационный период увлажняется зона аэрации, еще на 2,5 м далее продолжается цикл снова, но с уменьшенной

интенсивностью 3—0 м (аналогичные диапазоны влажности грунтов глубже 2,0 м наблюдались в Южном Казахстане).

Одновременно с этим идет подъем грунтовых вод без учета инфильтрации сверху. Л. В. Дунин-Барковский (14) отмечал, что такой подъем может иметь место вследствие того, что до орошения испарение совместно с диффузионным и сорбционным переносом воздействовало на расходование воды с глубоких грунтовых вод. По нашему мнению, величина этого переноса относительно невелика — 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.

Рассматривая зону аэрации опытного участка в совхозе № 11 по уравнениям водного баланса зоны аэрации и грунтовых вод ниже корнеобитаемого слоя, мы видим, что за вегетацию приток составил 5658 м³/га, из них пошло на изменение запасов влаги в зоне аэрации 3900 м³/га. Испарение из грунтовых вод и зоны аэрации составило 150 м³/га. В грунтовые воды через зону аэрации могло пройти 1908 м³/га, приход с ранее орошавшихся земель составил 216 м³/га, всего — 2124 м³/га, что дает подъем уровня грунтовых вод в 3,54 м против 3,38 фактически.

Аналогично совпадает (0,70 и 0,62 м) снижение уровня грунтовых вод за вегетацию по факту и расчету.

Таким образом, очевидно, что проникновение влаги в глубокие грунтовые воды идет по крупным сквозным ходам в лессовых грунтах через горизонты «мертвой влаги» и за счет влияния растекания на соседнем орошаемом массиве.

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

Абсолютно аналогичные данные по промачиванию грунтов в процессе орошения при достаточном увлажнении получили В. А. Сурин (44) на Гараутинском массиве нового орошения и И. П. Мочалов и другие (34) в Яванской долине Таджикистана.

Обработка имеющихся данных позволила получить зависимость продвижения фронта увлажнения в первый год h_1 и последующие h_i (от 2 до 5 лет).

$$h_1 = 1{,}7\sqrt{k\tau}; \tag{14}$$

$$h_i = (h_1 + 0{,}5)\, t^{-0{,}582}. \tag{15}$$

Возможно и обратное явление, например, в гидроморфных условиях, когда вследствие искусственной дренированности ранее неорошаемых земель уровень грунтовых вод и соответственно влажность зоны аэрации несколько снижается. Таким образом, характер изменения влажности зоны аэрации зависит от естественных гидрогеологических условий, техники полива и тех инженерных мероприятий, которые намечаются и осуществляются 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. Происходит это в застойных зонах затруднительного оттока и движения грунтовых вод, а также в том случае, если оросительной нормы недостаточно для покрытия дефицита влаги.

Для того чтобы минерализация грунтовых вод устойчиво уменьшалась, необходима достаточная дренированность и промывной режим орошения. Эта величина определяется из уравнения водного баланса грунтовых вод с учетом минерализации грунтовых, оросительных и дренажных вод:

$$Д \cdot C_д \geqslant \left[O_р \frac{(1-\eta_c)\cdot d_1^{\circ} + (1-\eta_{mn})\cdot \eta_c \cdot d_2^{\circ}}{\eta_c} + M + \alpha O_c \right] C_u \pm$$

$$\pm \left[\frac{\Sigma \Delta \overline{\overline{П}}}{f} - \frac{\Sigma \Delta \overline{\overline{O}}}{f} - u_{гр} \right] C_{гр} \pm \frac{\Delta P}{f} \cdot C_{пер}. \qquad (16)$$

Здесь величина потребного дренажного стока будет зависеть от гидрогеологических условий в виде «притока-оттока», исходной минерализации грунтовых вод и испарения из грунтовых вод как функции уровня грунтовых вод от поверхности.

В качестве примера приведем динамику минерализации грунтовых вод в совхозе № 31 им. Хамида Алимджана новой зоны Голодной степи. Здесь орошение начато в 1971 г. на площади 1200 га и постепенно в течение 5 лет освоены земли всего совхоза. Территория расположена в междуречье Клы-Токурсая, выполняющем роль сбросных трактов дренажных вод. Почвы луговые пустынные и 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.

Солевой состав грунтовых вод при достаточной искусственной дренированности подвержен следующей закономерности. Плотный остаток, Cl, SO_4, Na снижаются очень

резко, Mg, Ca и HCO_3 изменяются незначительно. Некоторое увеличение наблюдалось только в 1975 г., когда в течение двух маловодных лет оросительная норма 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). Здесь 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, в экосистемах пустыни соотношения между запасами веществ в блоках и интенсивностями обменных потоков узкие вследствие малой продуктивности пустынь, недостатка влаги, более высокому содержанию 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 скорость всех 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, такие как изменение минерализации грунтовых вод и тесно связанное с ним изменение запасов солей зоны аэрации.

Для Средней Азии характерно засоление почв сульфатно-хлоридное, хлоридно-сульфатное и других типов, но присутствие значительного количества гипса спасает почвы от опасности солонцевания. 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 уменьшается и его содержание в оросительной воде и тем самым еще более усиливается опасность осолонцевания почв.

Опасность резкого качественного изменения химизма грунтовых вод и изменения направленности солевого обмена между водами и почвами иногда в опасную сторону существуют в зонах с активным водообменом между зоной аэрации и грун-

товыми водами, например при интенсивном дренировании из глубоких горизонтов с помощью вертикального дренажа или при откачках оросительной воды для целей орошения. При смешении в качестве источника орошения оросительных и подземных вод такая опасность невелика, но при орошении только подземными водами явления резкого повышения минерализации, особенно в локальном масштабах, могут проявляться очень быстро, особенно при создании сосредоточенных подсосов из глубоких сильно минерализованных рассолов вдоль скважин вертикального дренажа, как это имело место в 1977—1979 гг. на скважинах при орошении 4,5 тыс. га Аштской степи 1 очереди, где минерализация местами поднялась с 0,6—1,0 до 2—4,5 г/л.

При орошении первичнозасоленных, но естественно-дренированных земель происходит рассоление их вследствие подачи оросительной воды. Такого же эффекта можно добиться и при необходимости рассоления первичнозасоленных земель в условиях недостаточной дренированности за счет создания искусственного дренажа необходимой интенсивности.

Чтобы направить процессы соленакопления в нужном направлении, обеспечивая снижение запасов солей в зоне аэрации, необходимо с помощью дренажа и оросительной нормы определенной величины обеспечить условия снижения запасов солей исходя из солевого баланса зоны аэрации:

$$O_{\text{р}} \cdot \eta_{\text{пп}} \cdot C_{\text{ор}} + Q_{\text{с}} C_{\text{ос}} (1 - \alpha) - S_{\text{ур}} + u_{\text{гв}} \cdot C_{\text{гв}} - [O_{\text{р}} (1 - \eta_{\text{пп}}) \cdot d_2'' + M + O_{\text{с}} \alpha] \cdot Cu \leqslant O. \quad (17)$$

ИЗМЕНЕНИЕ КАЧЕСТВА ВОДЫ В РЕКАХ И ВОЗВРАТНЫХ ВОД ПОД ВЛИЯНИЕМ ОРОШЕНИЯ

Развитие орошения, как уже говорилось выше, интенсивно влияет на качество воды в реках не только из-за отбора пресной воды, но в связи с изменением характера возвратных вод.

Учитывая разноречивость имеющихся представлений о возвратных водах, приводим их характеристику.

Под возвратными водами подразумеваем вслед за С. Ш. Мирзаевым (32) все виды подземных и поверхностных вод, естественных и использованных, возвращающихся с деятельной территории к водному источнику (реке, водохранилищу, озеру, естественной впадине), из которого они могут быть повторно использованы.

Возвратные воды, как это показано на рис. 12, образуются в реке и до орошения в виде подруслового стока, при этом величина этого стока

$$П_п = \sum_{o}^{n} F_i \cdot q_{ei} \qquad (18)$$

является функцией площади, дренируемой рекой непосредственно $(\sum_{o}^{n} F_i)$, и дренажного модуля естественного подземного притока с этой территории q_{ei}. Даже если бы этот возвратный сток не увеличивался, то и без этого минерализация стока реки в конечном створе массива (II — II) увеличивалась бы до величины

$$C_0^1 = \frac{(\overline{W}_o \overline{W}_{op}) C_o + \overline{W}_{во} \cdot C_{во}}{\overline{W}_o - \overline{W}_{op} + \overline{W}_{во}}. \qquad (19)$$

Так как минерализация возвратного стока больше минерализации речного

$$C_{во} > C_o,$$

то

$$C_0^1 > C_o.$$

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 вод. В результате изменение минерализации речного стока определится как

$$C_o = \frac{(W_o - \overline{W}_{op} - \overline{W}_п) C_o + \overline{W}_{во} \cdot C_{во} + \overline{W}_п \cdot \lambda \cdot C_п}{\overline{W}_o - \overline{W}_{op} + \overline{W}_{во} - \overline{W}_п (1 - \lambda_п)}, \qquad (20)$$

где W_0^1 — сток в начальном створе реки;

$\overline{W}_{op}$ — оросительное водопотребление;

C_{op} — минерализация речного стока;

$\overline{W}_{во}$ — возвратный сток;

$\overline{W}_п$ — прочие водопотребители;

$\lambda_п$ — доля возврата прочих водопотребителей;

$C_п$ — минерализация возврата прочих потребителей;

$C_{во}$ — минерализация возвратных вод.

Для определения влияния на величину возвратных вод орошения и его основных характеристик автором была предложена совместно с Л. С. Литваком методика, которая нами в настоящее время уточнена на основе ряда новых проработок. В отличие от известных приемов, разработанных В. П. Светицким, основанных на ряде коэффициентов пропорциональности к объему водозабора, и С. И. Харченко, предложившего пользоваться сочетанием водно-балансового метода с методом

аналогов, нами сделана попытка составить зависимость, учитывающую 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 естественную дрену с площади зоны влияния, и на искусственные, возникающие в результате дренирования водосбросной площади коллекторами, дренами и направлениями дренажных вод с них обратно в реку, как в водоприемники.

Следует отметить, что от собственно возвратных вод неотделимы сбросные воды, поступающие из оросительных систем по сбросным трактам или непосредственно с полей. Хотя значительная часть исследователей старается и по форме отделить эти воды от возвратных, однако по содержанию и по результативности это сделать невозможно. Действительно, дренажные и сбросные воды, поступая в водоприемные коллекторы, смешиваются и сбрасываются как единое целое в гидрографическую сеть. Формирование объема ирригационных возвратных вод (без учета промбытстоков) мы можем представить следующим образом:

$$\overline{W}_{во} = П + Д + С. \qquad (21)$$

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

Сток Д определяется степенью и масштабом искусственной дренированности территории и видом дренажа. Наконец, третья составляющая С зависит от характера поливной техники, состояния и качества поливов и совершенства оросительных систем.

Подрусловая приточность определялась при этом как разница между суммарным объемом возвратных вод, определенных балансовым методом, и учтенным сбросом сбросных и дренажных вод.

Анализ, проведенный нами на основании обработки материалов САНИИРИ (В. П. Светицкий и Н. И. Зудина) на примере долин Ферганской и Зарафшана, показывает, что между отношением подрусловой приточности к бытовому стоку и водоносностью года имеется параболическая зависимость типа

$$П = (a_1 p^2 + a_2 p + a_3) W, \qquad (22)$$

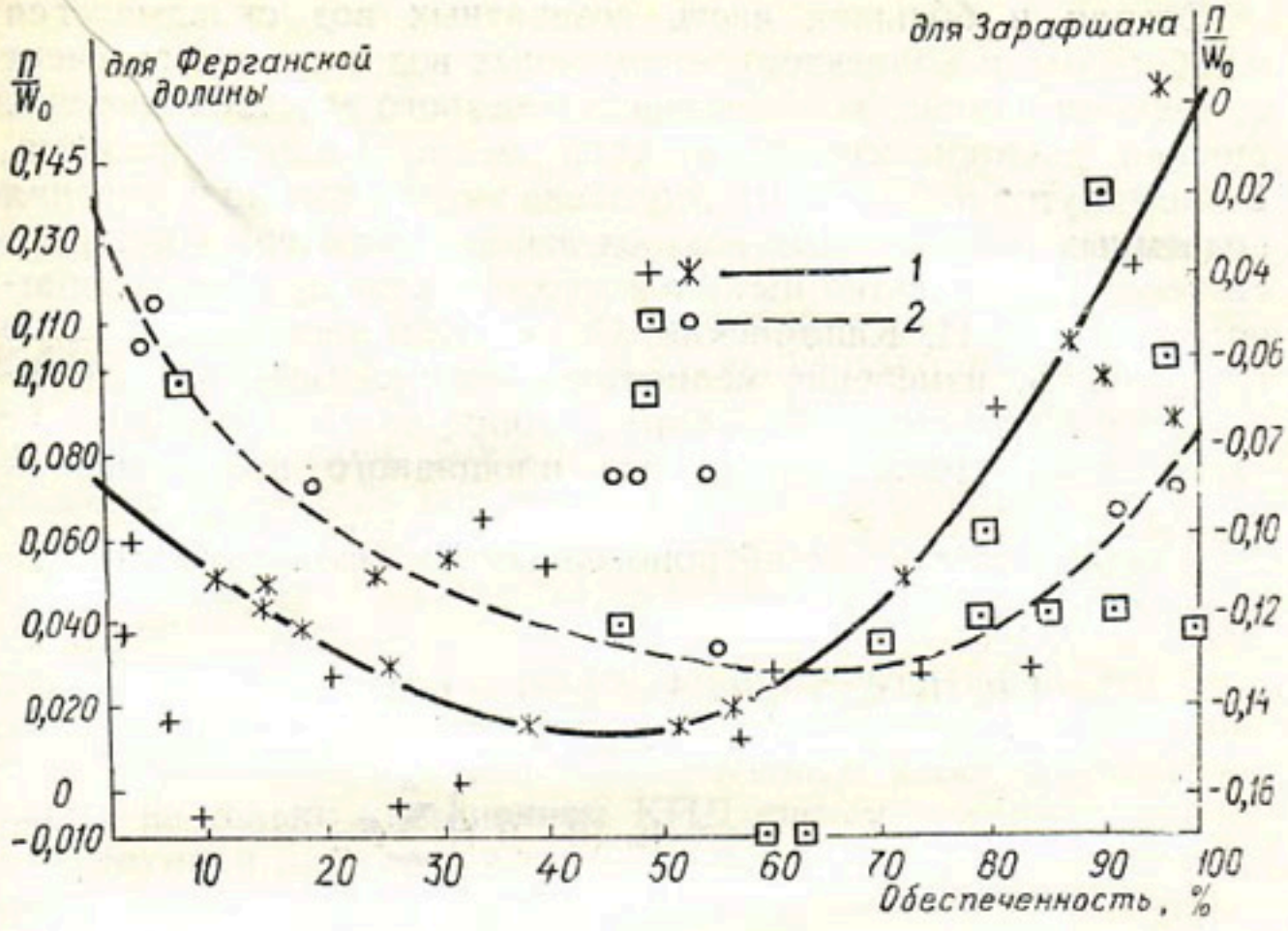

Рис. 15. Зависимость русловой части возвратных вод от бытового стока и водности года:

1 — Ферганская долина; *2* — долина Зарафшана.

где P — обеспеченность стока года;

a_1, a_2, a_3 — коэффициенты, характерные для каждого балансового участка реки (рис. 15).

Для Зарафшана коэффициент составляет $a_1 = 0{,}22$, $a_2 = -0{,}307$, $a_3 = -0{,}1676$; для Ферганской долины — $a_1 = 0{,}158$; $a_2 = -0{,}782$; $a_3 = 0{,}04$.

Параболический характер этой зависимости с минимумом при годах 35—60 % обеспеченности вполне объясним. В годы большой водности, естественно, наблюдается увеличение притока и одновременно подъем горизонта воды в русле, но увеличение притока опережает уменьшение напора от подъема горизонтов воды в реке. При минимальных уровнях воды в реке, наблюдаемых в годы малой водности ($P > 80$ % обеспеченности), уровни в реке снижаются (по Ферганской долине это снижение достигает 2,5—3 м), что резко увеличивает приточность непосредственно к руслу за счет сработки уровней воды на массиве, хотя поступление воды к деятельной территории со стороны гор минимально.

Русловая приточность, хотя и зависит от антропогенного вмешательства в бассейн, но, видимо, незначительно, так как корреляция между ними очень малая.

Вторая и бóльшая часть возвратных вод складывается из сбросных и коллекторно-дренажных вод и целиком зависит от техники полива, коэффициента полезного действия системы, степени дренированности и типа мелиоративного режима. В упомянутой работе С. Ш. Мирзаева учтены только изменения подземных и возвратных вод под действием потерь в поле и в системе. Более полно пытается учесть составляющие возвратного стока М. И. Каплинский. Он не учитывает подрусловую приточность, изменение мелиоративных режимов, а в антропогенной части стока вводит трудно определимый коэффициент рассеивания стока, размер вод площадного выклинивания и т. д.

В общем случае две антропогенные составляющие возвратных вод выразятся

$$Д + С = \left[\frac{O_р\,(1-\eta_{mn})\cdot\eta_с\,(d_2'' + d_2''') + (1-\eta_с)\cdot(d_1'' + d_1''')}{\eta_с} + \right.$$

$$\left. + M - u_{г.в.} - h_a\,(\theta - \theta_o)\right]\sum_{o}^{n} F_i. \qquad (23)$$

Изменение запасов влаги в бытовом размере для староорошаемых земель может быть принято равным нулю, его необходимо учитывать лишь для новоорошаемых земель с исходными глубокими грунтовыми водами.

Величина $(М - И_{г.в.})$ определяется в зависимости от грунтовых вод, степени засоления почвогрунтов по данным мелиоративной службы и является довольно стабильной величиной для каждого мелиоративного режима.

Иначе величина Д + С может быть определена как сумма сбросных вод и дренажного стока по выражению:

$$Д + С = \sum_{o}^{n} F i q_{др}\cdot\bar{n}_i + \frac{O_р\,[(1-\eta_{mn})\eta_с\cdot d_2''' + (1-\eta_с)d_1''\sum_{o}^{u} F_i}{\eta_с}. \qquad (24)$$

Величину $D + C$ можно выразить через общий водозабор, если заменить $O_р$ через Q брутто как $Q_р = Q_{брутто}\cdot\eta_{mn}\cdot\eta_с$, а Q брутто $\sum_{o}^{n} F_i$ как $\overline{W}_{ор}$. Одновременно, подставив вместо $\sum_{o}^{n} F_i\cdot q_{9р}\cdot n_i$ среднюю дренированность в виде части дренажного стока, выраженного через среднюю степень дренированности и дренажный сток в доле водозабора, мы получаем

$$Д + С = \overline{W}_{ир}\left[\left(n_1\frac{q_{др}}{q_{ор}} + (1-\eta_{тп})\eta_с \cdot d_2'' + (1-\eta_с)\cdot d_1''\right]. \quad (25)$$

Приняв на основании исследований САНИИРИ и С. Ш. Мирзаева $\frac{q_{эр}}{q_{ор}} = 0{,}35$, а также другие данные на основании материалов САНИИРИ, Средазгипроводхлопка, Минводхоза УзССР, мы получили расчетные величины антропогенной части возвратного стока ($Д + С$) и сопоставили их с фактическими величинами. Абсолютная величина отклонений составила + 14 — 27 % при коэффициенте корреляции 0,91.

Пользуясь этим выражением, можно прогнозировать величину возвратных вод с учетом изменения не только КПД техники полива и системы, но и величины оросительной нормы, дренажного стока, изменения мелиоративного режима, внутрисистемного использования дренажных вод и т. д.

Нынешний период водохозяйственных работ характеризуется 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, оценивать различные варианты использования возвратных вод. В качестве примера сделан расчет прогноза возвратных вод по Ферганской долине, по р. Сырдарье и определено влияние его на минерализацию стока воды р. Сырдарьи при различных вариантах использования.

В расчете принято два варианта использования возвратных вод:

I. Все возвратные воды, сформировавшиеся в пределах части бассейна, отводятся в реку.

II. Значительная часть возвратных вод используется на орошение внутри систем, остальная сбрасывается в реку.

Наряду 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 с уровнем $\frac{q_{эр}}{q_{ор}}$ 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 кпд систем и мелиоративного режима приводит к снижению доли возвратных вод к водозабору от 48 % в 1975 г. до 42 % в 1980 г., 35 % в 1985 г. и 28 % в 1990 г.

Минерализация в реке систематически будет повышаться сверх предельно допустимых концентраций (ПДК) и только

увеличение использования коллекторно-дренажных вод внутри систем позволит удержать минерализацию воды в реке ниже ПДК.

По сравнению с расчетами авторов прогноз, учитывающий все факторы изменения параметров орошения и дренажа, дает значительное снижение ожидаемого объема стока в р. Сырдарье.

Как видно, большинство из управляемых изменений природных условий, которые могут иметь и положительную, и отрицательную направленность (10, 11, 12, 13, 15 в табл. 4), связано в большей степени с определенными гидрогеологическими и почвенными условиями, при этом для обеспечения их положительной направленности необходимо создание (там, где ее недостаточно) искусственной дренированности и определенного мелиоративного или почвообразовательного процесса. Это даст возможность, если не направить в положительную сторону процесс изменения качества стока рек, то снизить величину его до таких пределов, чтобы не создавать опасных изменений при орошении. Остальные управляемые изменения (5, 6, 8, 14, 16) должны учитываться при проектировании и строительстве.

Глава III

ПРИНЦИПЫ СОЗДАНИЯ ТЕХНИЧЕСКИ СОВЕРШЕННЫХ ОРОСИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ В АРИДНОЙ ЗОНЕ

Место оросительной системы в составе ППИК определено в главе I как комплекс инженерных объектов, с помощью которого происходит превращение неорошаемых земель в высокопродуктивные орошаемые. Более полно применительно ко всем орошаемым землям, независимо от срока их освоения, оросительная система в аридной зоне представляет собой совокупность сооружений и объектов, предназначенных для водозабора, распределения между водопотребителями и подачи воды нужного качества на поля с помощью оросительной сети; управления уровнями грунтовых вод, сбора и отвода их и сбросных вод по коллекторно-дренажной сети и включает вспомогательные сооружения, штат и персонал, управляющий и обеспечивающий нормальную работу сооружений; приборы и средства, регистрирующие изменения в работе и природной обстановке; необходимые материальные ресурсы, в том числе материалы, механизмы и транспорт; соответствующее административное и финансовое обеспечение.

Это определение уточняет положение А. Н. Костякова и позволяет детально рассмотреть построение систем и их соответствие предъявленным требованиям по соответствующим элементам.

ТРЕБОВАНИЯ К СОВЕРШЕННЫМ ОРОСИТЕЛЬНЫМ СИСТЕМАМ

Исходя из изложенного в главах I, II, совершенные оросительные системы должны удовлетворять следующим требованиям:

1. Управление воздушным и водно-солевым режимом почвогрунтов с целью создания оптимальных условий для получения высоких урожаев сельскохозяйственных культур при минимуме затрат воды на орошение обеспечивается созданием мелиоративного режима на орошаемом массиве в сочетании с достаточной равномерностью распределения воды на поле и однородностью воздействия на соли в почвогрунтах. Совершенная оросительная система должна включать не только оросительные каналы и сооружения, как это было ранее, но и дренаж, как средство управления уровнем грунтовых вод и отточностью от массива, и технику полива, как средство, позволяющее выполнить задачу равномерного увлажнения и опреснения почвы на фоне дренажа. Естественно, чтобы управление водой и необходимыми режимами почвогрунтов осуществлялось в нужном направлении, все элементы сети должны быть оборудованы приборами учета и средствами наблюдений. Одновременно с целью снижения удельных затрат воды оросительная система должна выполняться с необходимым повышением КПД путем создания антифильтрационных покрытий и специальных конструкций.

2. Приспособляемость системы к изменениям природных условий, происходящих и направляемых в процессе освоения новых орошаемых земель в соответствии с нашими проработками, освещена в главе II. Имеются в виду не только конструктивные меры по обеспечению устойчивости сооружений при этих явлениях, как, например, замочка при просадочных грунтах и т. д., но и возможность удовлетворения неизбежным изменениям параметров системы в этот период. Это касается в основном динамики в процессе освоения водопотребления и дренажных расходов, что приводит к увеличению на начальном этапе работ расчетных параметров оросительной и дренажной сети по сравнению с эксплуатационными, а также возможным изменениям высотного положения отдельных сооружений, уровня грунтовых вод, отметок оросительной воды. Это должно учитываться в проектных проработках при строительстве и эксплуатации.

А.13

3. Обеспечение надежности и долговечности взаимодействия воды с землей связано с тем, что орошаемые земли являются основополагающим элементом огромного капиталоемкого комплекса, впоследствии составляющего базу экономического потенциала массивов, а иногда и целых регионов. Поэтому любые нарушения в оптимальном характере взаимодействия двух основных изменяемых природных составляющих — земли и воды — могут привести к снижению продуктивности орошаемых земель, что неминуемо нанесет огромный экономический и социальный ущерб для большой зоны с вовлеченным в сферу его огромным населением. Важно не только обеспечить долговечность конструкций сооружений и надежность их работы в течение длительного времени, но и создать такую систему эксплуатационных мероприятий, которые бы поддерживали постоянную работоспособность сооружений и на будущее путем периодического возобновления основных фондов. Эксплуатационные и сельскохозяйственные органы должны с помощью систематического контроля за всеми элементами орошаемых земель (уровень и минерализация грунтовых вод, минерализация почвогрунтов, содержание питательных веществ) обеспечивать принятие необходимых мер, гарантирующих прогрессирующее плодородие земель.

4. Индустриальность конструкций необходима для обеспечения высоких темпов строительства и ввода орошаемых земель. В последние годы темпы ввода на отдельных массивах достигли 20—25 тыс. гектаров в год. Чтобы выполнить строительство необходимых оросительно-дренажных сооружений и обеспечить их подготовку под освоение в условиях пустынных земель, необходимы такие конструкции и решения отдельных элементов этой системы, которые бы за счет максимальной сборности, заводской готовности и механизации строительства позволили бы обеспечить надежные темпы работ при минимальных затратах труда в тяжелейших условиях строительства. Важно, чтобы трудоемкость отдельных видов работ создавала возможность выполнения однородных работ параллельными специализированными потоками.

5. Экономичность системы должна определяться не только по капитальным вложениям, но и с учетом долговечности и эксплуатационных затрат. Наилучшим, очевидно, будет метод приведенных затрат с учетом амортизационных отчислений (несмотря на их отсутствие для межхозяйственных сооружений) и водного фактора.

МОДЕЛЬ ОРОСИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ И РОЛЬ ЕЕ ОСНОВНЫХ КОНСТРУКТИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Целевая функция основной деятельности системы может быть представлена цепочкой задач и процессов, изображенных на рис. 16, на котором показано направление ведущих связей

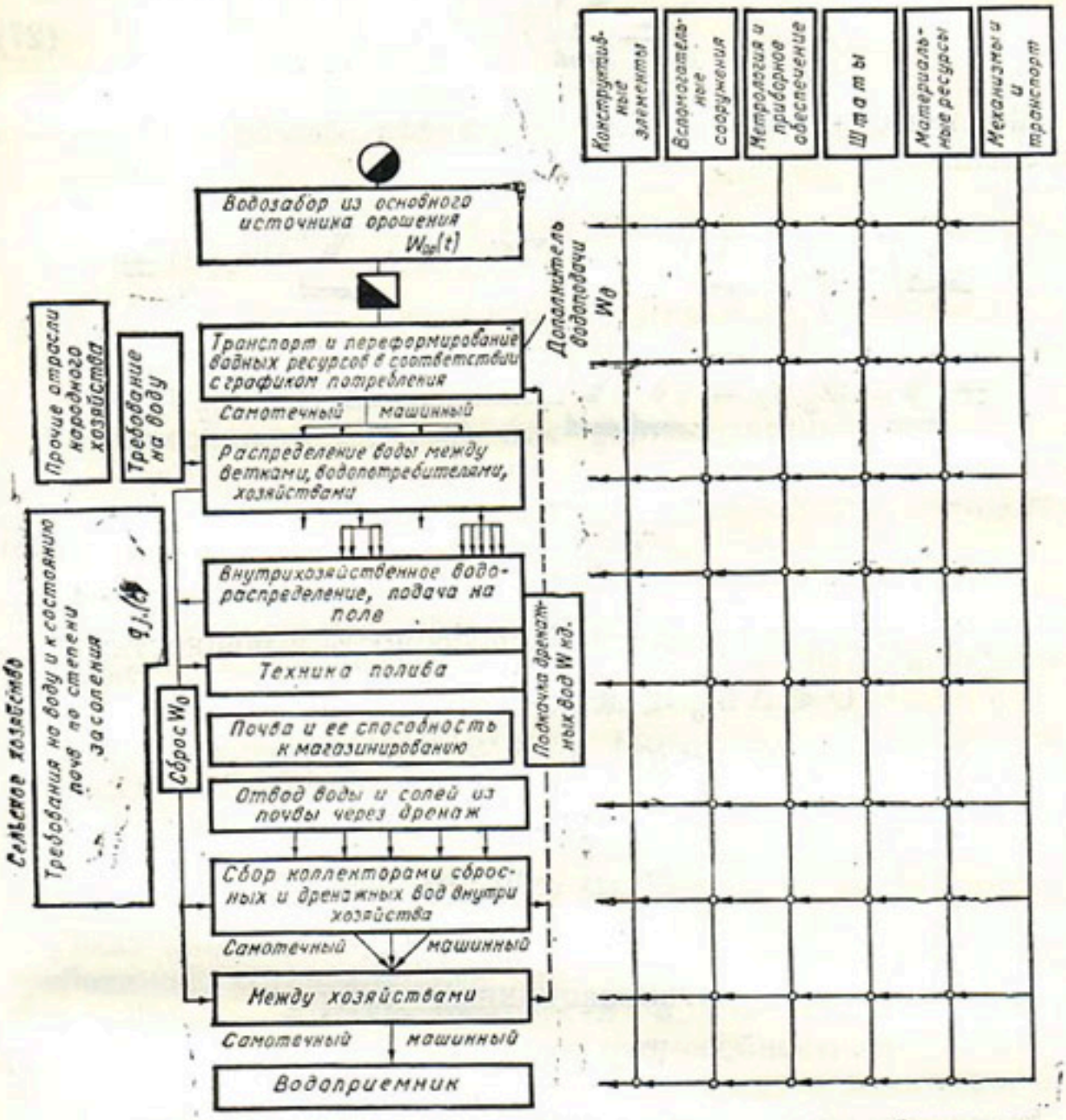

Рис. 16. Связь основной целевой функции оросительной системы.

и их увязка с обеспечивающими средствами (или подсистемами) и требованиями сельского хозяйства и прочих отраслей. Формализация этой функции по подаче воды может быть выражена через суммарные требования сельского хозяйства на воду

$$\sum_{i=1}^{F}\sum_{t}^{T}\frac{[q_{ij}](t)\times f_{ij}}{\eta_{mn}} = \sum_{h=1}^{N}\sum_{t}^{T}[W_n](t), \qquad (26)$$

расчетный баланс полезной водоподачи нарастающим итогом за время Т

$$\sum_{0}^{T}[W_{вд}](t)+\sum_{0}^{T}[W_{д}](t)=\sum_{0}^{N}\sum_{0}^{T}\frac{[W_{op}](t)+[W_{n}](t)}{\eta_{c}}\pm$$

$$\pm\sum_{0}^{T}[W_{вх}(t)], \qquad (27)$$

фактический баланс водозабора для любого промежутка времени

$$\sum_{0}^{T}W_{nj}t(t)+\sum_{0}^{T}W_{\partial}(t)+\Sigma W_{к\partial}(t)\pm\sum_{0}^{T}\Delta W_{вх}(t)\pm$$

$$\pm\sum_{0}^{T}\Delta W_{\sigma}(t)=\sum_{0}^{N}\sum_{0}^{T}\frac{W_{op}(t)+W_{n}(t)}{\eta_{c}}\pm W_{доб}(t)+$$

$$+\sum_{0}^{T}C(t). \qquad (28)$$

Ограничения по пропускной способности и мощности:

$$O\leqslant\Delta W_{\sigma}\leqslant[W_{\delta}];\ O\leqslant Q_{вд}\leqslant[Q_{вд}];$$

$$O\leqslant Q_{сбр}\leqslant[Q_{сбр}];\ O\leqslant\Delta W_{вх}\leqslant[W_{вх}].$$

Ограничения по водозабору

$$W_{вд}(t)\leqslant W_{уб}(t).$$

Критерий оптимизации целевой функции:

1) минимизация организационных потерь

$$W_{сбр}(t)\to\min, \qquad (29)$$

2) максимальное приближение к оптимальному водопотреблению расчетного одинарного элемента

$$[q_{ji}](t)-q_{ji}(t)\to\min. \qquad (30)$$

Выполнение основной целевой функции осуществляется с помощью конструктивных элементов, включающих строительную и дренажную сети с сооружениями, технику полива. Их работа обеспечивается набором вспомогательных сооружений, средств транспорта и связи, приборами и метрологией, механизмами, а также работой эксплуатационного персонала.

При правильно запроектированной системе и эксплуатации, достаточной внешней водообеспеченности и нормальном состоянии всех сооружений должны соблюдаться два условия:

в течение всей вегетации режим влажности для любой точки участка орошаемого системой, составит

$$[\theta]_{0,7\text{ППВ}} \leqslant \theta_{ji}(t) \leqslant [\theta]_{\text{ППВ}} \Big|_{z=0}^{z=\delta},$$

степень засоления почв для любого участка, орошаемого системой, должна быть равна

$$[S] > S_{ij}(t) < S_{ij}(t-1) \Big|_{z=o}^{z=\delta},$$

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 складываются вследствие:

— природной неоднородности почвогрунтовых, грунтовых вод и других естественных субстанций орошаемого массива, а также недоучета полного диапазона изменений вследствие недостаточности объема изысканий;

недостаточно полного охвата при проектировании всего процесса взаимодействия конструктивных элементов в процессе эксплуатации в результате условности представления расчетных схем.

Здесь понятие работоспособности системы по Ц. Е. Мирцхулава (33) характеризуется степенью 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):

$$1 - \sum_{o}^{F} \sum_{o}^{T} \frac{[\theta_{ji}(t)] - [\overline{\theta}_{ji}(t)]}{[\theta_{ji}(t)]} \doteq \overline{\Delta}(t), \qquad (31)$$

где черточка над индексом обозначает возможные по проекту средние величины показателей;

$\overline{\Delta}(t)$ — 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, при регулировке струи эта неравномерность снижается в идеале до 5—8%. Здесь $\overline{\Delta}(t)$ соответственно равно 70—80 или 92—95%.

Другой вид проектной водонеобеспеченности 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 людей λ_t; вспомогательных сооружений S_t; транспорта и механизмов (подвижных средств) M_{tl}; запасов материалов $(З_i)$;

при недостатке информативности (I_{ni});

при недостаточной квалификации персонала;

при ухудшении качества работы сооружений вследствие износа и потери части управляемости и работоспособности.

Первое условие может быть сформулировано как степень отклонений водоподачи в зависимости от обеспеченности и нормативной потребности вспомогательных подсистем и средств, выражающаяся через

$$\sum_{o}^{F}\sum_{o}^{T}\frac{[\vartheta_{ji}(t)-\overline{\theta}(t)}{[\overline{\theta}_{ji}(t)]}=f\left(\frac{\lambda\alpha}{[\overline{\lambda}]};\frac{S_{t\beta}}{[\overline{S}_t]};\frac{\mu_{fc}}{[\mu_f]};\frac{З_{id}}{[З_i]};\frac{J_{nig}}{[J_{ni}]}\right), \qquad (32)$$

где α, β; c; d; g — соответствующие матричные коэффициенты.

Аналогично второе условие — отклонения в водоподаче в системе — задается как функция качества кадров по степени компетентности

$$\sum_{o}^{F}\sum_{o}^{T}\frac{[\theta_{ji}(t)]-\theta_{ji}(t)}{[\overline{\theta}_{ji}(t)]}=f(K_{st}), \qquad (33)$$

где K_{st} — балльность уровня кадров от 1 до 0,3 по экспертной оценке.

Наконец, третье условие — снижение работоспособности и выход из строя отдельных сооружений и их частей в зависимости от осуществления плана ремонтных работ и технического обслуживания системы.

Без проведения ремонтных работ отказы нарастают, работоспособность снижается, возникают отклонения в водоподаче и водоотводе, а стало быть, соленакопление увеличивается. При выполнении работ по аварийной схеме работоспособность на определенный период времени понижается и в целом остается меньше единицы. При профилактическом проведении системы технического обслуживания работоспособность поддерживается на 100%-ном уровне или близком к нему. Поэтому третье условие может быть сформулировано:

$$\sum_{o}^{F}\sum_{o}^{\tau}\frac{[\overline{\theta}_{ij}(t)]-\theta_{ij}(t)}{[\overline{\theta}_{ji}(t)]}=f(M_d;\ f_p), \qquad (34)$$

где M_d — объем профилактических или ремонтных работ;

f_p — частота отказов в зависимости от характера конструкций и их ремонтопригодности.

Учитывая, что работоспособность системы в процессе эксплуатации и строительства регулируема, правильные решения основных конструктивных элементов и их увязки для стабильной водообеспеченности и управления уровней грунтовых вод являются определяющими работу технически совершенных оросительных систем.

Идеальная увязка всех ранжированных вниз звеньев оросительной сети осуществлялась бы, если бы требования на изменение водопотребления немедленно передавались по всем конструктивным элементам до водозабора и также 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 определенную величину запаздывания. Эта величина запаздывания должна быть учтена объемом резервирования. В любой момент

$$\Sigma q_{\text{пi}}=\Sigma q_{\text{i}}\pm\frac{\Delta W_{\text{доб}}}{t_g+t_з},$$

где t_g и $t_з$ — соответственно время добегания и запаздывания.

$\Delta W_{\text{доб}}$ — объем изменяющейся водоподачи.

Однако главным в увязке всех звеньев системы является возможность восприятия и перетрансформации конструктивными элементами ее 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 (35), впервые оценивая суммарную надежность работы для хорошей системы в зависимости от звеньев, определив их соответственно порядка 0,85—0,95, получил общую надежность как произведение всех составляющих 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 водопотребления 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 (48), на инженерных системах Таджикистана величина организационных сбросов из-за таких несовпадений составляет от 11 до 29 %, в среднем — около 20 %. Наши наблюдения на совершенной системе ЮГК дали величину 11,8 % без учета сброса с полей орошения, у М. Ф. Натальчука (35) — около 20 %.

Выполнение требований оптимизации требует определенных сочетаний конструктивных элементов с учетом их резервирования. Объем резервирования излишков воды в процессе отказов от нее и рассогласования системы определяется исходя из выражения (28), рассчитанного для различных уровней возможного рассогласования,— «Магистраль — межхозяйственный уровень — хозяйственный уровень — поле». Он покрывается за счет создания емкости бьефов и резервных емкостей суточного регулирования на каналах.

$$W_б = \sum_{0}^{fn} \{Q(t) - [Q(t)]\} \cdot t. \qquad (35)$$

Объем необходимого резервирования для восприятия сниженной работоспособности и возможных отклонений в водоподаче определяется как следствие работоспособности системы и водоудерживающей способности почв, выступающих уже как огромный естественный резерв почв во влагообеспеченности:

$$W_{рез} = [1 - \Delta(t) \cdot \Delta_c(t) \cdot \Delta_э(t)] W_c - W_s, \qquad (36)$$

где $W_{рез}$ — объем резервирования;
W_c — объем суточного водопотребления;
W_s — резерв магазинирования почвы.

В особо влагоемких почвах, таких как в Голодной степи, резервирование магазинированием превышает зачастую недодачу по воде до 78—80 %, как это имело место 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 звеньев в других условиях приводит к использованию в течение всей вегетации каналов на форсированных режимах.

Рассмотрим основные конструктивные элементы системы, их связь между собой с точки зрения указанной выше модели, критериев оптимизации и требований к совершенным оросительным системам.

МЕЛИОРАТИВНЫЕ РЕЖИМЫ И ИХ СВЯЗЬ С ВОДОПОТРЕБЛЕНИЕМ

Общее водопотребление, как оросительное, так и промывное, тесно связано с мелиоративными режимами, с таким сочетанием искусственного и естественного дренажа, водоподачи и агротехники, которое определяет взаимодействие оросительных и грунтовых вод и влияет на величину суммарного водопотребления.

Понятие о мелиоративных режимах было введено в СССР в 1962 г. Н. М. Решеткиной. Они создаются при наличии комплекса гидротехнических, агротехнических мероприятий, природных условий с учетом экономической целесообразности и соответственно классификации почвообразующих процессов. Позже это понятие развил вместе с Н. М. Решеткиной А. А. Рачинский. Однако в дальнейшем А. А. Рачинский мелиоративные режимы стал делить на сероземные, сероземно-луговые и луговые. В то же время он считает, что третий режим нельзя отнести к оптимальным.

Характерные особенности мелиоративных режимов становятся ясны из определения суммарных затрат нетто на орошение (табл. 11).

Определив характерные влажности для различных режимов, мы можем получить кривые суммарного испарения, учитывая, что при этом для гидроморфного режима характерна влажность, близкая к 100 % ППВ, для полугидроморфного — 90 — 95 % ППВ, для полуавтоморфного — 75— 85 % ППВ, для автоморфного < 75 % ППВ.

Рассчитаем для типичного распределения R, $\bar{\omega}$, r_0 и другие кривые суммарного водопотребления для Голодной степи,

Таблица 11

Основные характеристики мелиоративных режимов

Мелиоративный режим	Характер взаимодействия с грунтовыми водами	Питание из грунтовых вод и мелиоративная доля, тыс. м³/га	Испарение из грунтовых вод, тыс. м³/га
Автоморфный	Грунтовые воды не подпитывают оросительную влагу, инфильтрация идет свободно вниз	$-П^* \leqslant 0{,}05 \div 0{,}1\ (E_m + u - O_c)$; $M = 0$	0
Полуавтоморфный	Грунтовые воды подпирают инфильтрацию оросительной воды, но сами незначительно участвуют в питании растений	$+П \leqslant 0{,}1 \div 0{,}2\ (E_m + u - O_c)$; $M = 0{,}5 \div 1{,}0$	0—1,5
Полугидроморфный	Грунтовые воды активно участвуют в питании растений, преобладая над оросительной влагой	$+П \geqslant 0{,}3\ (E_m + u - O_c)$ $M \geqslant 2{,}0$	1,5—3
Гидроморфный	Питание растений в основном происходит за счет грунтовых вод	$+П \geqslant (E_m + u - O_c)$ $M \geqslant 5{,}0$	3—7

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. Для автоморфного режима в качестве примера приняты данные В. М. Маслennикова по наблюдению за орошением хлопчатника на опытной станции НИСТО САНИИРИ в Ташкентской области при двух способах полива — бороздковом и дождевании. При бороздковом поливе участие запасов влаги и глубина проникновения корневой системы меньше, при дождевании не удается покрыть потребность растения во влаге, и корни глубже уходят в почвогрунт, стараясь из более глубоких запасов воды удовлетворить потребность суммарного испарения. В этом случае расход влаги из глубоких горизонтов довольно значителен, но урожайность будет меньшей, чем при бороздковом поливе.

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 кон-

структивно 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.

График суммарного испарения имеет криволинейный характер с нарастанием суточной ординаты от 2,0—3,0 в начале вегетации до 9—13 мм/сутки в середине июля и затем со 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 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, как это было показано в главе II, так как глубина промачивания зависит от времени полива. Даже в грунтах с большой влагоемкостью целесообразнее поливать чаще и более короткими периодами увлажнения. Увеличенная доля инфильтрационного сброса в глубинные горизонты подается с каждым поливом. Это положение, определенное нами путем обобщения данных Голодной степи, считалось многими исследователями следствием несовершенства техники полива. Опыты, проведенные Р. А. Алимовым на больших лизиметрах, показали, что при переходе к автоморфному режиму суммарное водопотребление на 8—11% больше, чем на границе полуавтоморфного.

Суммарное водопотребление, его интегральная кривая и распределение по источникам покрытия являются важными критериями определения параметров оросительной сети. Площадь, ограниченная первой кривой ординатой $y(t)$, на любой период от начала вегетации t соответствует ординате $(E_m + u) \cdot (t)$ на интегральной кривой, т. е. потребному объему водопотребления на эту дату. Максимальная ордината первой кривой определяет максимальное суточное потребление воды почвой и растением.

Для автоморфного режима общая оросительная норма в вегетационный период определяется для каждой культуры,

как

$$O_р = K_и \int_0^т [(E_m + u) - O_c]dt, \qquad (37)$$

а максимальная расчетная ордината —

$$q_р^к = K_и (E_m + u)\ \max, \qquad (38)$$

где $K_и$ — коэффициент увеличения оросительного водопотребления на инфильтрацию в глубокие горизонты.

Для полуавтоморфного режима, где мы стремимся к незначительному влагообмену между зоной аэрации и грунтовыми водами — до 10% от суммарного водопотребления, коэффициент снижения суммарного водопотребления и его ординаты $q_р^к$ максимальный до последнего времени принимался нами одинаковым и равным 0,9—0,95. В последнее время получены данные, свидетельствующие о том, что максимальная ордината $q_р^к$ за счет усиления в пик вегетации субирригации подпором дренажа может быть снижена на 20—25%

$$O_р = \int_0^т [(E_m + u) - O_c]\, dt - \int_0^т \Pi dt, \qquad (39)$$

или

$$O_р = K_1 \int_0^т [(E_m + u) - O_c]dt,$$

$$q_р^к = K_1'(E_m + u)\ max, \qquad (40)$$

где K_1 — коэффициент уменьшения суммарного водопотребления.

K_1' — коэффициент уменьшения ординаты гидромодуля.

Для полугидроморфного режима эти коэффициенты составляют соответственно $K_1 — 0{,}5 \div 0{,}75$, а $K_1' — 0{,}4 \div 0{,}7$. При этом в связи с криволинейным характером нарастания питания из грунтовых вод ордината q_{max} в полугидроморфном режиме сдвигается влево от эпогея кривой $(E_m + u) \cdot (t)$.

Таким образом, при различных мелиоративных режимах мы получаем при одном и том же максимальном суммарном водопотреблении различный характер кривых оросительного водопотребления, размер поливных норм, гидромодулей. Дренажные расходы также зависят от типа режима.

При переходе от режима к режиму происходит повышение уровня и минерализации грунтовых вод и возрастает интенсивность соленакопления. Поэтому надо увеличивать ме-

лиоративную долю водопотребления М. Ее следует определять как необходимое количество воды, которое нужно добавить к оросительной воде, чтобы вымыть накапливающиеся в процессе орошения соли.

При зарегулированном стоке рек не имеет значения, когда подавать воду на промывки по условиям водоподачи — в вегетацию или в осенне-зимний период. Поэтому выбор необходимо проводить, не пытаясь увеличивать максимальную ординату поливного гидромодуля. Если по климатическим условиям осадки естественные не обеспечивают необходимых запасов влаги перед посевом и имеется потребность во влагозарядковом поливе, то лучше совмещать влагозарядковый полив с промывкой, так как при этом затраты труда особенно не увеличиваются. При выборе времени специального промывного влагозарядкового полива следует учесть соблюдение сроков поспевания почвы перед севом. Во всех остальных случаях эффективнее совмещать полив с промывкой, исключая период максимальной ординаты гидромодуля (июль — первая половина августа).

В полугидроморфных условиях большая часть водопотребления удовлетворяется за счет подпитки грунтовыми водами, при этом доля питания из грунтовых вод увеличивается по мере увеличения глубины корневой системы растений. Количество поливов и объем поливной нормы бесспорно меньше, чем при автоморфном и полуавтоморфном режимах. Поливная доля при полугидроморфном режиме в зависимости от минерализации грунтовых вод, наоборот, намного больше, чем при полуавтоморфном режиме; соответственно больше и величина дренажного стока. Но даже при слабой минерализации грунтовых вод промывная доля составляет более 20—30 % от суммарного водопотребления, и поэтому она должна подаваться вне вегетации.

ОПТИМИЗАЦИЯ МЕЛИОРАТИВНЫХ РЕЖИМОВ

Задача оптимизации мелиоративного режима заключается в определении таких параметров дренажа, уровней грунтовых вод, режима орошения, при которых суммарные затраты воды на орошение и промывные нужды были бы минимальны при соблюдении минимума экономических показателей на строительство и содержание системы.

Оптимальный режим по минимуму годовых затрат воды может быть определен в следующем порядке:

устанавливается водопотребление E_{m0} и u_0 с учетом осредненной $R = f(t)$, среднемесячного прогноза осадков $O_c(t)$ и других климатических и почвенных параметров для дан-

ной местности и таксономической единицы за весь год. На основе построения типичного профиля влажности и капиллярного подсоса в зависимости от исходного уровня грунтовых вод устанавливается суммарное испарение и соответствующее ему $(u + E_m)_t = \int (R;\ \theta)$;, а также питание из уровня грунтовых вод с соответствующим изменением уровня грунтовых вод в сочетании с подачей воды. Прогонка ведется методом смены последовательных стационарных состояний.

Параллельно учитывается изменение солевого баланса зоны аэрации по выражению

$$\frac{d\overline{S}}{dt} = \frac{dO_p}{dt} \cdot \eta_{mn} \cdot \frac{dC_{op}}{dt} + \frac{dO_c}{dt} \cdot C_{oc}\left(1 - \alpha - \frac{dS_{yp}}{dt} + \frac{d(E_m + u)_{r.в.}}{dt}\right) \cdot$$

$$\frac{dC_2}{dt} - \left[\frac{dO_p}{dt}(1 - \eta_{mn}) \cdot d_2^{-} + \frac{dO_c}{dt}\alpha\right] \cdot \frac{dC_и}{dt}. \qquad (41)$$

После прогонки S (t) в годовом разрезе для каждого варианта положения грунтовых вод и установления изменения соленакопления с учетом промывного действия орошения и осадков определяется потребное промывное водопотребление M по методике В. Р. Волобуева, Л. М. Рекса, С. Ф. Аверьянова, В. А. Ковды и суммарное водопотребление, как сумма $M + O_p + \Delta.h_a\ (\theta_0 - \theta_к)$. По минимуму этого выражения и определяется оптимальный мелиоративный режим.

Бесспорно, что такой подход к определению оптимального мелиоративного режима требует сложных и громоздких расчетов. Поэтому для выяснения параметров режима может быть предложена более простая методика с учетом определенных допущений.

Учитывая, что в аридной зоне в период вегетации осадки обычно не достигают уровня грунтовых вод, а минерализация их близка к нулю, в выражении (41) объемом осадков можно пренебречь, ибо их роль в переносе солей во время вегетации в наших условиях ничтожна. Принимаем далее, что минерализация оросительной воды (C_{op}) постоянна, а промывная часть водоподачи может быть выражена в доле от оросительной как $M = \beta O_p$. Поглощение растений солями пока исключаем из рассмотрения. Учитывая, что каждому уровню грунтовых вод соответствуют в среднем определенные средняя влажность корнеобитаемого слоя и средняя влажность поверхности

$$\frac{\theta_{ср}}{\theta_{ппв}} = f\left(\frac{h_{гв}}{h_к}\right), \qquad (42)$$

мы можем установить величину транспирации и фактического

испарения за вегетационный период и в целом за год. Принимая, что влажность в начале и в конце вегетации равна, получим:

$$(E_m + u)_{гв.} + O_c + O_p \cdot \mu_{mn} = (E_m + u)_z. \quad (43)$$

Подставив величину $(E_m + u)$ из выражения С. Ф. Аверьянова

$$(E_m + u)_z = (E_m + u)_o \cdot \left(1 - \frac{h_z}{h_к}\right)^2 \quad (44)$$

или

$$(E_m + u)_z = (E_m + u)_o \cdot \overline{K}, \quad (45)$$

где

$$\overline{K} = f\left(\frac{h_{г.в.}}{h_к}\right),$$

получим:

$$(E_m + u)_o = \frac{O_c + O_p \eta_{mn}}{K\left(1 - \frac{h_г}{h_к}\right)}, \quad (46)$$

$$(E_m' + u)_{гв.} = \frac{O_c + O_p \cdot \eta_{mn}(h_к - h_г)^2}{\overline{к} h_к^2 - (h_к - h_г)^2}; \quad (47)$$

$$O_p = \frac{(E_m + u)_o\left[\overline{K} - \left(1 - \frac{h_c}{h_к}\right)^2\right] - O_c}{\eta_{mn}}. \quad (48)$$

Тогда, проинтегрировав выражение (41) в диапазоне вегетации $0 < t < T$ с учетом всех подстановок и вышесказанных положений, получим уравнение, при котором солевой баланс зоны аэрации будет нулевым ($\Delta S = 0$), т. е. соленакопления в вегетацию происходить не будет:

$$O_p \cdot \eta_{mn} \cdot C_{op} + \frac{O_p \cdot \eta_{mn}(h_к - h_2)^2 + O_c}{\overline{к} h_к^2 - (h_к - h_2)^2} C_г - [O_p(1 - \eta_{mn}) d_2^* + O_{pβ}] \cdot Cu = 0.$$

Отсюда может быть получена необходимая величина увеличения оросительной водоподачи на промывную долю:

$$β = \frac{\eta_{mn} \cdot C_{op} + \frac{\eta_{mn}(h_к - h_г)^2 + \frac{O_c}{O_p}}{\overline{к} h_к^2 - (h_к - h_г)^2} C_г}{Cu} - (1 - \eta_{mn}) d_2^*. \quad (49)$$

Полные затраты воды на орошение определяются как

$$\frac{O_р + M}{\eta_с} = O_р \frac{(1+\beta)}{\eta_с},$$

а оросительный модуль — так же, как для различных мелиоративных режимов.

Величина дренажного модуля (л/с/га) рассчитывается по уравнению водного баланса грунтовых вод

$$q_{др} = \frac{O_р\,([1-\eta_{пп})d'_2 + \beta_{ор}] + \dfrac{O_р\,(1-\eta_с)\,d'_1 + O_с\,\alpha - (\underline{П}-\underline{О})}{\eta_с}}{t_{вег}}, \qquad (50)$$

где $t_{вег}$ — продолжительность вегетационного периода.

В то же время дренажный модуль должен быть равен водоприемной способности дренажа по одной из известных формул, например С. Ф Аверьянова, А. Н. Костякова, А. Я. Олейника, где $q_{др}$ будет функцией напора действующего ($H - h_{ср}$) и междренного расстояния B.

Задаваясь теперь глубинами грунтовых вод в диапазоне от 1 до 5 через 0,5 м и для каждой из них глубинами дренажа от 2 до 5 м, при последовательном переборе значений минерализации грунтовых вод от 1, 2, 3, 5 и т. д. до 15 г/л, находим последовательно параметры:

β по выражению (49),
$O_р$ по выражению (48),
$q_{др}$ по выражению (50),

В — по формуле Аверьянова, Костякова и др.

В результате по суммарному расходу воды оптимум водопотребления при минерализации грунтовых вод 1 г/л получим при глубине грунтовых вод 2 м; при минерализации 2—5 г/л — 2,5 м; при минерализации более 5 г/л — 3—3,5 м. Таким образом, как и в прежних наших работах, при минерализации грунтовых вод 1—2 г/л полугидроморфный режим является оптимальным мелиоративным, а при большей минерализации — полуавтоморфным режимом.

Полученные результаты совпадают с рекомендациями Н. Г. Минашиной (30) по абсолютной величине глубины грунтовых вод для Голодной степи и А. И. Голованова (11), который рекомендует глубину грунтовых вод для минимального влагообмена зоны аэрации с ними принимать на уровне $0{,}9h_к$. Если же учесть удельные расходы воды на единицу урожая, данные несколько изменятся.

Для влияния режима на урожайность воспользуемся данными М. П. Медниса, И. К. Киселевой, В. М. Легостаева,

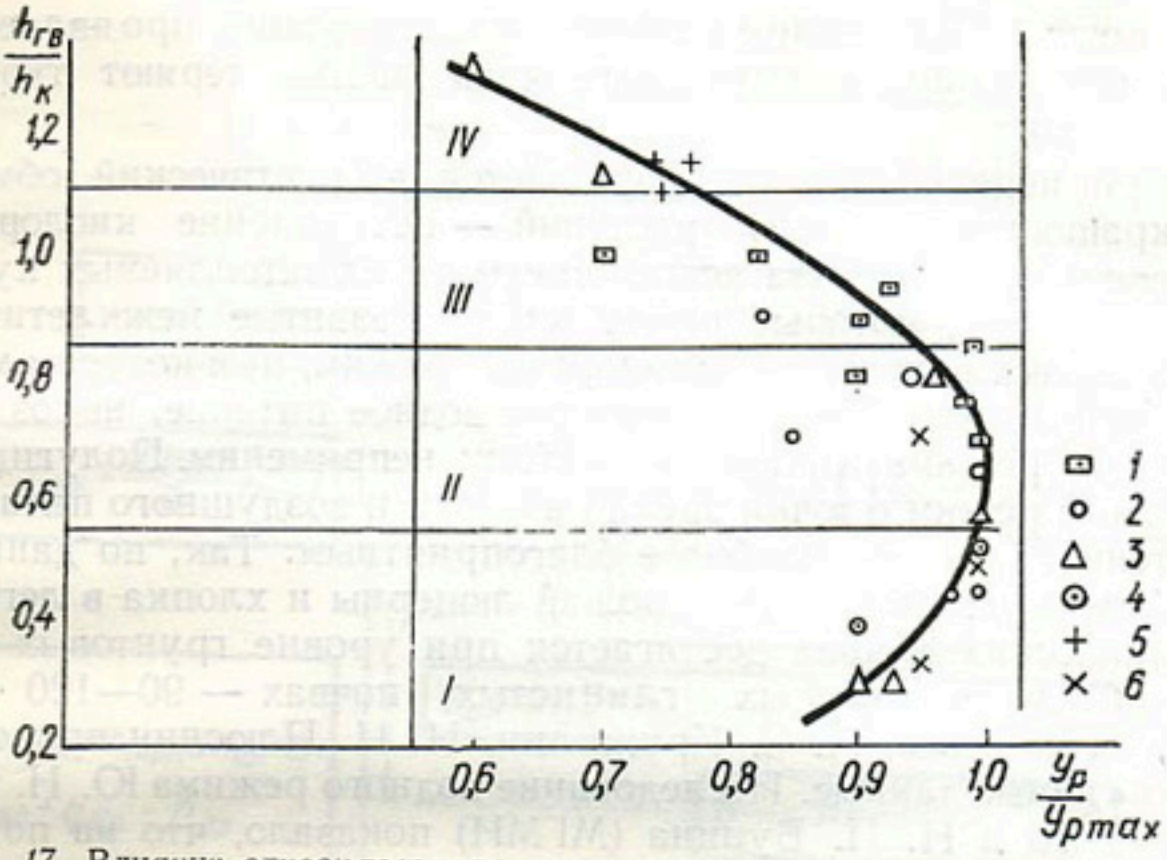

Рис. 17. Влияние относительного уровня грунтовых вод и мелиоративного режима на урожайность хлопчатника. Режимы:

I — гидроморфный; *II* — полугидроморфный; *III* — полуавтоморфный; *IV* — автоморфный.

1 — Пахтаарал; *2* — Бухара; *3* — Голодная степь; *4* — Федченко; *5* — Аккавак; *6* — Хорезм.

и других. Эти данные, обобщенные на рис. 17, совместно с обеспеченностью влажности по Л. Н. Побережскому по полю рассеивания позволяют ориентировочно оценить снижение урожайности и дать кривые расхода воды на единицу урожая.

Из рис. 17 видно, что максимум урожайности наблюдается при относительной глубине грунтовых вод, равной (0,5÷0,75) $h_к$, что соответствует полугидроморфному режиму. При большей глубине грунтовых вод урожайность снижается на 5—20% в пределах полуавтоморфного режима и на 30% и более при автоморфном режиме. При более близких грунтовых водах также имеет место некоторое снижение урожайности на 5—10% за счет переувлажнения.

Эти данные соответствуют материалам Н. С. Петинова, Н. С. Горюнова, а также Л. Н. Побережского. Последний указывает, что при близких грунтовых водах средняя обеспеченность влажности в пределах $\theta_{ппв} - \theta_{врк}$ составляет 70%, в том числе недоувлажнение — 0%, переувлажнение — 30%, а при глубоких грунтовых водах соответственно—45,5%, переувлажнение — 12% и недоувлажнение 42,5%.

Н. С. Петинов указывает, в частности, что при избыточной влажности почвы затруднены питание корневой системы кислородом, отвод углекислоты в атмосферу, ухудшается аэра-

ция почвы. Подавление процесса транспирации проявляется при затоплении, в результате чего листья теряют тургор и увядают.

При переувлажнении нарушается энергетический обмен, прекращается дыхание растений — поступление кислорода и углекислого газа (за исключением таких затопляемых культур, как рис, которые имеют сильноразвитые межклетники из наземных органов). Гидроморфный режим, при котором могло бы быть достигнуто постоянное водное питание, не создает нужного режима аэраций и поэтому неприменим. Полугидроморфный режим с точки зрения водного и воздушного питания растений является наиболее благоприятным. Так, по данным А. Арара, максимальный урожай люцерны и хлопка в легких органических почвах достигается при уровне грунтовых вод 60—80 см, в тяжелых глинистых почвах — 90—120 см. В. И. Легостаев, А. С. Кружилин, И. И. Плюснин приводят аналогичные данные. Исследование водного режима Ю. Н. Никольского и Н. П. Бунина (МГМИ) показало, что на почвогрунтах экспериментального участка с $K_ф \pm 0{,}3$ м/сутки максимальный урожай получен при уровне грунтовых вод $\approx$1,0 м от поверхности. Устойчивость показателей урожайности больше при этих уровнях грунтовых вод и в производственных условиях, так как 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. На это обращали внимание В. А. Ковда, В. В. Егоров, Н. Г. Минашина. Такие данные получены отделом охраны водных ресурсов САНИИРИ (А. П. Орлова) в процессе наблюдений за интенсивностью выноса, накопления удобрений.

Однако полугидроморфный режим применим только при пресных грунтовых водах (с минерализацией до 2 г/л). Расчеты показывают, что оптимальными по расходу воды для Голодной степи становятся при минерализации грунтовых вод 1 г/л полугидроморфный режим с глубиной грунтовых вод 2 м, при 2—10 г/л — 2,5 м, при минерализации более 10 г/л — полуавтоморфный режим с глубиной 3,0 м.

Общая схема оптимизации по сумме приведенных затрат с учетом относительного снижения урожайности Δy с ценой урожая $\overline{Ц}$, а также водного фактора $Ц_в W$ приведена на рис. 18. Удельная стоимсть оросительной сети принята по нашей работе (18) в зависимости от оросительного расхода $Q_{ор}$, удельного модуля $q_{ор}$ и $\eta_с$. Дренаж принят зак-

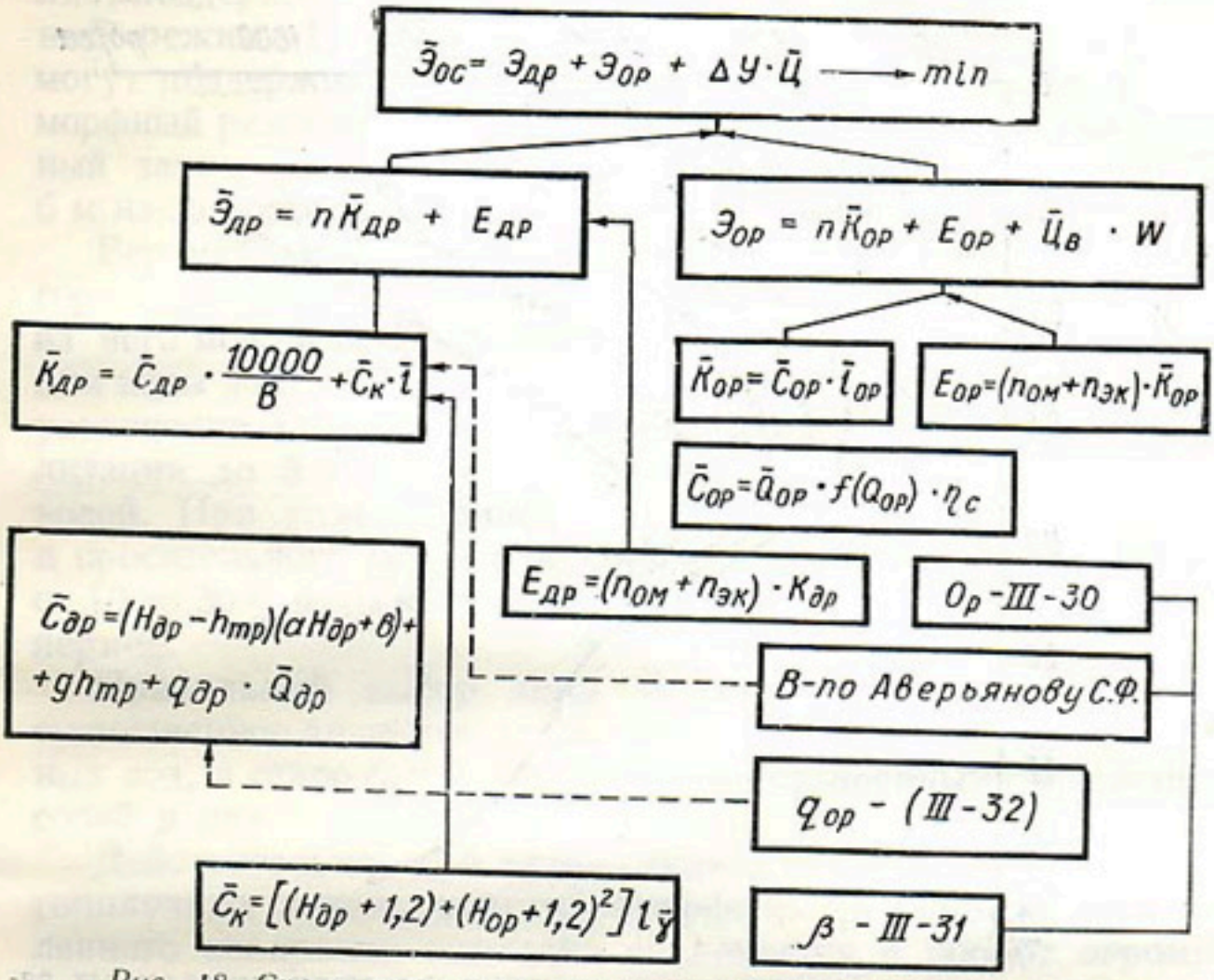

Рис. 18. Схема расчета оптимизации мелиоративного режима.

рытый горизонтальный. Результаты полной оптимизации (рис. 19) почти совпадают с оптимизацией по воде с учетом урожая — при минерализации 1 г/л полугидроморфный режим с $\frac{h_г}{h_к} = 0{,}57$; при минерализации 2 — 5 г/л — полуавтоморфный с $\frac{h_г}{h_к} = 0{,}71$; при 10—15 г/л — полуавтоморфный с $\frac{h_г}{h_к} = 0{,}85$.

ВЫБОР МЕЛИОРАТИВНЫХ РЕЖИМОВ ПРИМЕНИТЕЛЬНО К РАЗЛИЧНЫМ ПРИРОДНЫМ УСЛОВИЯМ

На основе приведенной в главе II систематизации природных условий и вышеприведенных принципов оптимизации необходимо осуществить выбор мелиоративных режимов для разных условий. Здесь определяющими являются требования: в каком направлении управлять изменением гидрогеологических и почвенных условий.

Одним из критериев при этом является достаточность или недостаточность дренирования до орошения и после его начала, возможность применения, исходя из гидрогеологических и геоморфологических условий, вертикального или горизон-

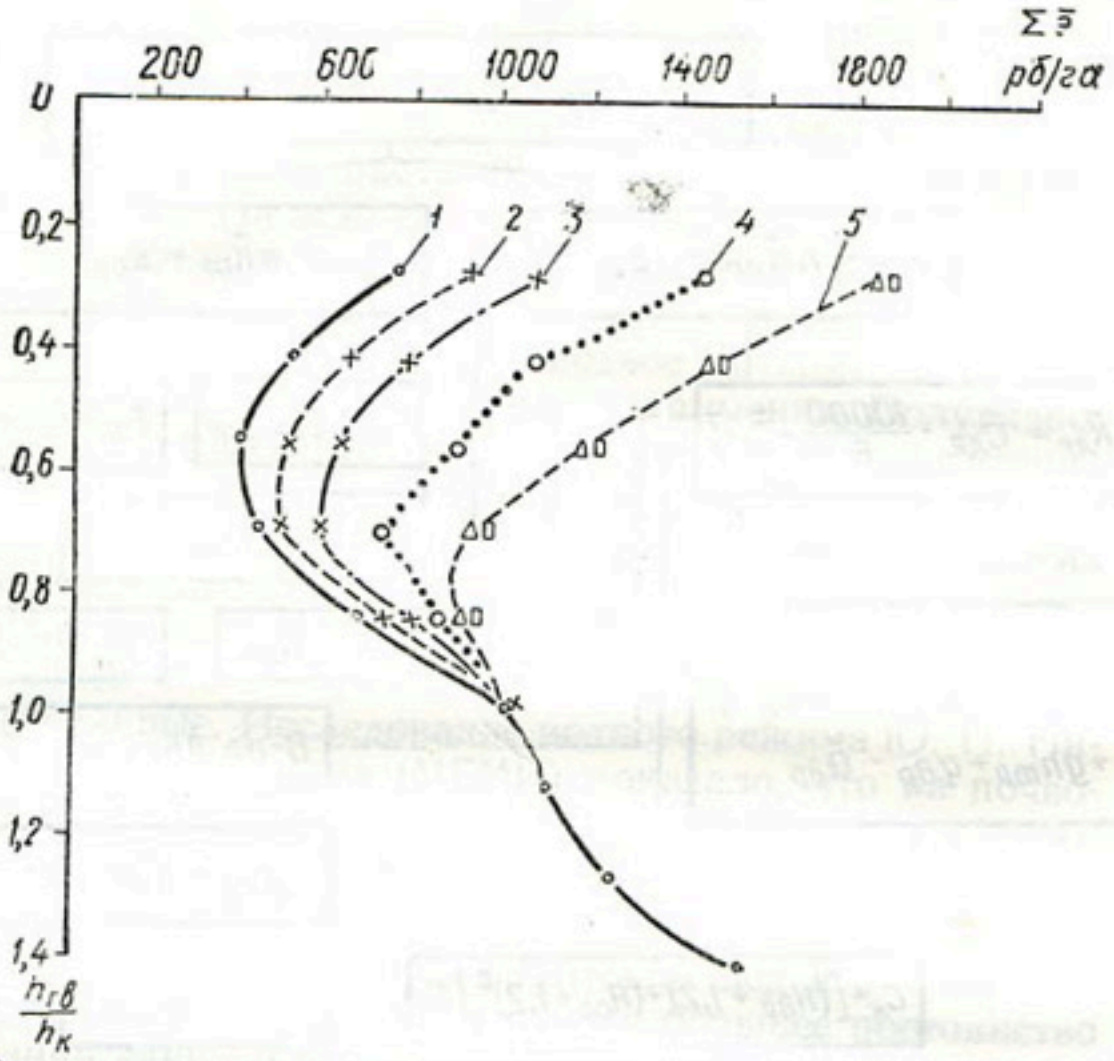

Рис. 19. Оптимизация мелиоративного режима по сумме приведенных затрат с учетом воды и урожая:

1 — С = 1 г/л· 2 — С = 2 г/л; 3 — 3 г/л; 5 — 15 г/л.

тального дренажа, минерализация грунтовых вод и интенсивность испарения грунтовых вод в зависимости от их положения. Остановимся на природных условиях применения различных видов дренажа и некоторых их сравнительных характеристиках, а также на условиях формирования мелиоративных режимов в зависимости от уровня грунтовых вод и водно-физических свойств грунтов зоны аэрации.

Вертикальный дренаж целесообразно применять при двух- или многослойном строении дренируемой толщи, если на глубине до 100 м имеется хороший водоносный горизонт, откуда можно организовать интенсивную откачку, и при наличии хорошей связи между верхними дренируемыми горизонтами и этим водоносным слоем. С экономической точки зрения, как было установлено нами, вертикальный дренаж по приведенным затратам может конкурировать с горизонтальным дренажем при нагрузке на одну скважину не менее 100 га дренируемой территории.

Для нас важно определить, имеются ли на массиве условия для применения вертикального дренажа по указанным крите-

риям в связи с тем, что только вертикальный дренаж позволяет поддерживать или сформировать на территории автоморфный режим. Горизонтальный и комбинированный дренажи могут поддерживать только полуавтоморфный или полугидроморфный режимы, так как мы не можем строить горизонтальный закрытый или комбинированный дренаж глубиной 5—6 м из-за дороговизны и сложности строительства.

Вертикальный дренаж имеет еще одно преимущество перед горизонтальным — без всяких дополнительных затрат воду из него можно использовать на орошение. Если минерализация воды до 2 г/л, ее можно использовать без смешения и без увеличения затрат на снижение соленакопления, при минерализации до 3 г/л — со смешением с пресной оросительной водой. При этом в зависимости от соотношения дренажного и оросительного модуля может быть получено дополнительно от 10 до 30 % воды к оросительной водоподаче в вегетационный период.

Правильный выбор типа мелиоративного режима имеет существенное значение и для снижения загрязнения возвратных вод, а стало быть, и воды рек с повышенным содержанием солей в них.

Действительно, при применении для мелиоративно неблагополучных земель полугидроморфного режима за счет усиленного испарения ежегодно вовлекается в оборот огромное количество солей, вымываемых при последующих промывках. Вред двойной: с одной стороны, расход лишнего количества воды, с другой стороны, загрязнение речных вод дренажными стоками. Таким образом, правильный выбор мелиоративного режима не только дает возможность максимально снизить расход воды на мелиоративные цели, но и способствует улучшению качества речных вод.

Так, расчеты показывают, что при поддержании дренажем в течение года среднего уровня грунтовых вод в Голодной степи 2,8—3 м вынос солей с каждого гектара будет составлять 3—4 т/га, а при уровне грунтовых вод 1,5 ÷ 2,0 — 10—15 т/га. Эти расчеты хорошо согласуются с нашими наблюдениями по новой зоне Голодной степи в период с 1967 по 1973 г., где вынос солей составлял ежегодно в среднем от 1,2 до 10 т/га дренированной площади в период освоения и промывок. Только в 1969 г., когда уровень грунтовых вод превысил в среднем из-за многоводности 1,8 м на дренированных землях, вынос солей возрос с учетом промывок до 29,6 т/га. Для сравнения — с территории Хорезмской области, где сложился полугидроморфный режим, при минерализации грунтовых вод в 3—4 раза меньшей, чем в Голодной степи, ежегодно выносится солей от 26 до 37 т/га дренированной территории.

Таблица 12

Выбор инженерных мероприятий для различных таксономических единиц пустынной зоны

Наименование мероприятий	Горный пояс I				Подгорные равнины II							Пустынные низменности III											
			Речные террасы		Конуса выноса			Речные террасы		Волнистые плато			Дельты										
													Приморские		Сухие и субаэральные		Аллювиальные равнины					Речные террасы	
	Конусы выноса	Склоны	высокие	низкие	вершина	зона выклинивания	периферия	высокие	низкие	склоны	междуречные пространства	водораздельные массивы	древние	современные	верхняя часть	средняя, нижняя	верхние	нижние и средние	широкие слабодренированные	то же абсолютно не дренированные	денудационно-аккумулятивные	высокие	низкие
	а	б	в	г	а	б	в	г	д	е	ж	з	а1	а2	б1	б2	в1	в2	г	д	е	ж	з и и
Тип дренажа	—	в/г	—	г	в	в/г	г	—	г	—	г	г	Горизонтальный комбинир. Любой									—	г г
Необходимость промывок капитальных профилактических	—	—	—	—	—	+	+	—	—	—	+	+	—	+	—	+	—	+	+	+	+	—	— +
Антифильтрационные мероприятия	—	+	—	+	—	+	+	—	+	—	+	—	+	+	+	+	+	+	+	+	+	∓	∓ +
	+	+	+	+	+	+	+	+	∓	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	— —
Техника полива:																							
по управляемым бороздам	—	—	+	+	+	+	+	+	+	+	—	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+* +*

дождеванием**	+	+	+	+	—	—	—	—	—	—	+	+	+	—	+*	—	+	—	—	—	—	—	+*	+*
внутрипочвенное	—	—	—	+	+	+	+	+	+	—	—	—	—	+	—	+	—	+	+	+	+	—	+	+
капельное	+	+	+	+	—	+	—	—	—	—	+	—	—	—	—	—	+	—	—	—	—	+	—	—
по террасам	+	+	+	—	—	—	—	—	—	—	+	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
бороздковое склоновое	+	+	+	—	—	—	—	—	—	+	+	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Глубокое рыхление		—	—	+	—	—	+	—	+	+	—	+	+	+	+	+	—	+	—	+	+	—	—	+
Пескование	—	—	—	—	—	—	—	—	—	+	—	—	+	+	—	+	—	—	—	—	—	—	—	+
Химмелиоранты	—	—	—	—	—	—	—	—	—	+	—	—	+	+	+	+	+	+	+	+	+	—	—	+

* — при пресных грунтовых водах и отсутствии засоления
** — при отсутствии ветра
в — применим вертикальный дренаж

г — горизонтальный
в/г — оба типа дренажа
+ да; — нет

Поэтому необходимо в целях минимизации загрязнения рек стремиться максимально расширить зоны с оптимальным мелиоративным режимом. При склонности почв к засолению или при подъеме минерализованных грунтовых вод оптимальным мелиоративным режимом будет полуавтоморфный, интенсивность солеобмена при котором минимальная, но в то же время сохраняется подпертый режим грунтовых вод. При этом режиме одновременно достигается и сохраняется снижение выноса минеральных удобрений вне корневой зоны.

При полугидроморфном режиме в условиях засоленных грунтов усиление солевой активности почвогрунтов приводит к выносу полезных запасов гипса, что в последующем может вызвать осолонцевание грунтов. На это указывал В. В. Егоров с сотрудниками в одной из своих последних работ. Мелиоративный режим в этих условиях должен быть с минимальным солеобменом, что обеспечивается при полуавтоморфном режиме.

Теперь на основе описанной концепции можно определить рекомендуемый режим для различных природных условий и соответствующие инженерные мероприятия, включая технику полива, как указано в табл. 12.

Для условий подгорных долин (адыров) большей частью естественная дренированность остается достаточной и после начала орошения. В этом случае здесь, естественно, имеет место автоморфный режим. Его также следует сохранить и при слабом естественном оттоке при наличии условий для применения вертикального дренажа и при минерализации грунтовых вод до 3 г/л, так как в этом случае минимизация расхода воды достигается с учетом использования откачиваемых дренажных вод на орошение при незначительных затратах воды на изменение режима. Здесь может представиться в определенных условиях целесообразность установить расчетную глубину грунтовых вод порядка 5—6 м, при которой сохраняется автоморфный режим, а увеличение оросительной доли на инфильтрацию покрыть откачкой дренажных вод, даже если она составляет 10% от оросительной нормы. Тогда

$$O_р = 11(u + T_р)_{пг} - Д - O_с \approx 0{,}9(u + T_р)_{пг}.$$

В указанных районах целесообразно применение дождевания для зерна и трав, капельного орошения или бороздкового (поверхностного) регулируемого полива. Дождевание возможно тем более, что в горном поясе величина осадков довольно значительна и достигает 500—700 мм. Учитывая наличие больших уклонов и возможность эрозионных размывов, технике бороздкового полива должно быть уделено максимальное вни-

мание. При применении бороздкового полива рациональным может быть применение стационарных жестких трубопроводов с очень малым поливным током в поливные борозды. Для очень больших уклонов (>0,05) можно применить террасирование или полив «смачивающей» струей порядка 0,004 л/сек с расстоянием между стационарными выводными бороздами — 15—20 м. Оригинальным является предложение С. Нурматова о создании «зигзагообразных» борозд на крутых склонах.

При неэкономном расходе или невозможности устроить вертикальный дренаж и применить горизонтальный должен создаваться полуавтоморфный режим с теми же устройствами по технике полива. Для вершин конусов выноса и высоких речных террас подгорных долин, а также на волнистых плато и в случаях III в I при наличии условий для вертикального дренажа сохраняется автоморфный режим. Для случая I г, II д, III а I, III б I, III д, I при слабой минерализации грунтовых вод до 2 г/л следует сформировать полугидроморфный режим, во всех остальных случаях оптимальным режимом будет полуавтоморфный.

Для нижних террас рек и дельтовых условий только в случае III при пресных грунтовых водах целесообразно применить полугидроморфный режим, в остальных случаях — полуавтоморфный.

Для условий III *е* обычно наилучшим видом дренажа является комбинированный дренаж, ибо гидрогеологическое строение покровных отложений представляет собой двухслойную среду с подстилающими на глубине 2—7 м хорошо проницаемыми песчаными или галечниковыми водосодержащими слоями, в которых дренаж с усилителями, заглубленными в этот слой, эффективно снимает создаваемую при орошении напорность слоя.

Для хорошо проницаемых незасоленных грунтов при III а, I б, I д, I создаются наилучшие условия для применения дождевания, при суглинках и тяжелых супесях — внутрипочвенное орошение. Внутрипочвенное орошение может быть рекомендовано и в других условиях. В большинстве случаев следует применять бороздковое управляемое — при больших уклонах и по «постоянным поливным участкам» — при уклонах <0,001.

Принципы выбора техники полива, их конструктивного решения и связи с переходными процессами в орошении и с засолением подробно описаны ниже.

Таким образом, в условиях Iа, Iб, Iв, IIа, IIе, IIIа, IIIб2, IIIаI исходные мелиоративные режимы сохраняются, в остальных они изменяются. В условиях Iг, IIб, IIIа, г, IIIд, г переход от режима к режиму хотя и снизит потенциальные

запасы влаги в верхней толще почвогрунта, но потребует некоторого дополнительного количества воды на промывки в период освоения. Задача состоит в том, чтобы сделать их минимальными. В остальных условиях переход от режима к режиму потребует дополнительных затрат воды на подъем уровня грунтовых вод и изменение влажности зоны аэрации.

В табл. 12 наряду с типом инженерных мероприятий приведены агромероприятия по мелиорации земель по данным В. А. Ковды, рекомендуемые им в классификации мелиоративных мероприятий для почв аридной зоны.

ВЫБОР СПОСОБА И ТЕХНИКИ ПОЛИВА В УСЛОВИЯХ АРИДНОЙ ЗОНЫ

Выбор способа полива определяется целым рядом природных и экономических условий, среди которых одним из важнейших является способность почв к магазинированию. К сожалению, даже в такой обобщающей и всесторонней работе, как работа В. Ф. Носенко (36), этот параметр забыт среди основных почвенно-мелиоративных факторов. Между тем в зависимости от типа грунтовых условий и уровня грунтовых вод темпы иссушения почвы в метровом слое разнятся от 200 до 40 $м^3$/га в сутки при колебании емкости магазинирования от 1100 до 1600 $м^3$/га. Таким образом, возможный максимальный перерыв в водоподаче составляет от 6 до 30 суток. 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 вызывают резкое несовпадение количества и норм поливов проектных и фактических режимов: в первом случае количество поливов участится, во втором — резко уменьшится. Так, в Хорезме фактически, по данным САНИИРИ, проводится 8—10 поливов, считая такты водоподачи дуплетом, а иногда и триплетом, а в Голодной степи зачастую ограничиваются двумя поливами.

Различия в характере водоудерживающей способности почвы предъявляют дифференцированные требования к параметрам и технике полива и даже оросительной сети. Емкость магазинирования почвы может быть рассмотрена как резервная, компенсирующая те отклонения, которые имеют место при несовпадении режима потребности в поливах и возможностей сети, но тем не менее не отражаются на условиях формирования урожая. Для оценки этого явления определим динамику влажности поля в соответствии со свойствами почв

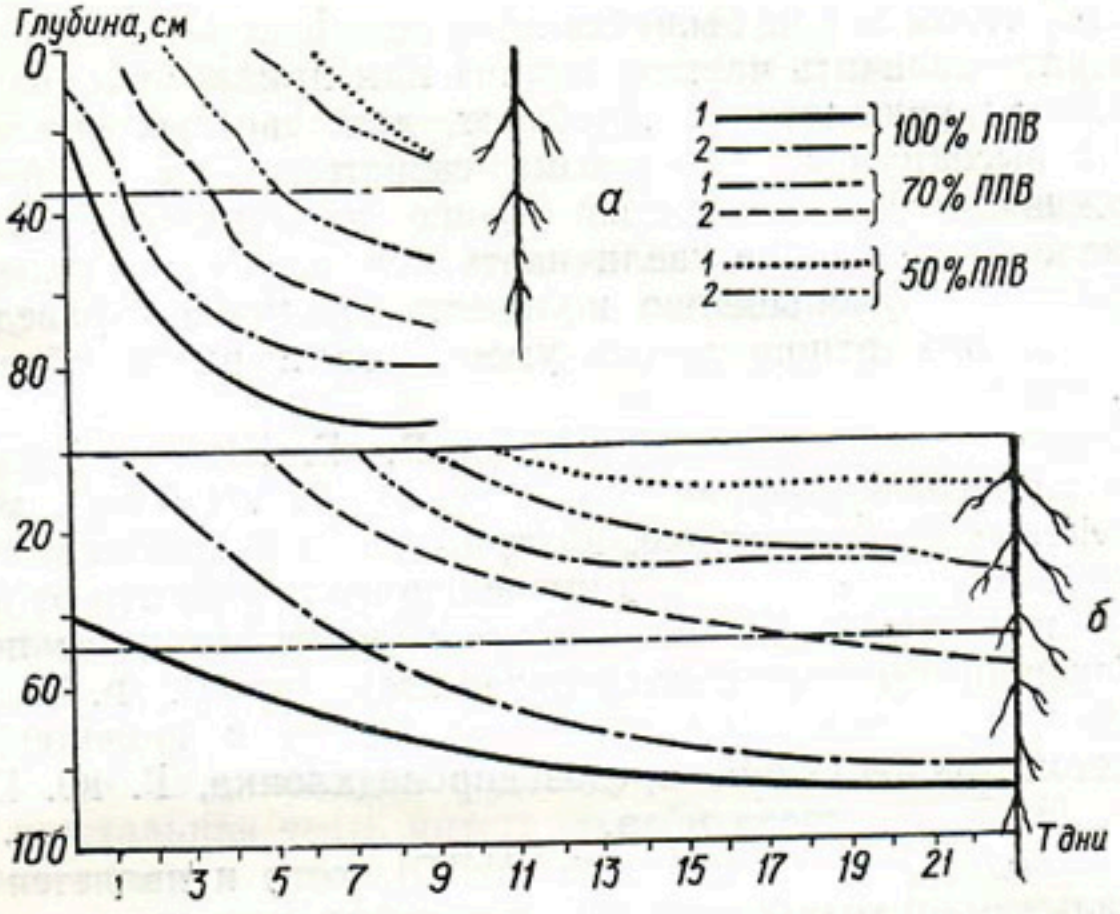

Рис. 20. Динамика изменения влажности корнеобитаемого слоя:

а — Хорезм, *б* — Голодная степь. *1* — начало борозды, 2 — конец борозды, 3 — граница слоя оптимального увлажнения.

для Хорезма и Голодной степи с учетом неравномерности увлажнения на длине борозды. Н. С. Петинов, А. С. Кружилин, ссылаясь на ряд работ (*Strebel*, И. В. Красовская, А. П. Джулай), указывают, что оптимальные условия развития корневой системы растения устанавливаются, когда достаточно увлажнено 90—75 % ее по глубине. В то же время имеются многочисленные данные о том, что если 60 % зоны лежит в слое оптимального увлажнения 70 % ППВ $\geqslant \theta \geqslant$ $\geqslant$ 100 % ППВ, ущемления водного питания не происходит (Рыжов С. Н., Мухамеджанов М. В.). На рис. 20 видно, что в период вегетации в легких малоструктурных почвах с малой способностью к магазинированию (Хорезм) для обеспечения оптимального увлажнения всего поля необходимо поливать через каждые 3—4 дня, а в Голодной степи можно растягивать межполивной период до 19—20 дней, что и делается на практике. Отсюда понятна и тенденция хорезмских, ташаузских дехкан к подпору воды в коллекторах и к поливу тактами по три-четыре на полив через 2—3 дня, чтобы улучшить увлажнение корнеобитаемого слоя.

В зависимости от водоудерживающей способности почв должен быть сделан выбор способов 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 трудозатрат увеличить частоту полива или приблизить его к постоянному увлажнению. Наоборот, для связных почвогрунтов с высокими капиллярными свойствами, большой водоудерживающей способностью лучше соответствуют способы полива, позволяющие увеличивать межполивной период, ибо тенденция к уменьшению количества поливов справедлива, так как она одновременно уменьшает и число обработок культур.

Воспользуемся классификацией Б. Г. Штепы, разделившего способы полива на дождевание, субирригацию, мелкодисперсное, поверхностное, внутрипочвенное орошение и давшего рекомендации по их применению в зависимости от назначения и природно-климатических условий. Способы полива детализированы нами с использованием работы В. Ф. Носенко, обобщения наших данных применительно к аридной зоне с учетом трудов ГСКБ, Средазгипроводхлопка, Г. Ю. Шейнкина, Н. Т. Лактаева и др.

Мелкодисперсное орошение (МДО), хотя и является универсальным по хозяйственным, геоморфологическим условиям, ограничено, так же как и дождевание, климатическими условиями (скорость ветра, влажность воздуха и дефицит испаряемости), а также зонами, устойчивыми к засолению даже при пресной воде, используемой для полива. Если прибавить к этому высокую стоимость полива, крупные капитальные вложения, то становится ясна ограниченность применения этого метода в условиях аридной зоны. Опыты, проведенные в САНИИРИ кандидатом биологических наук Э. Узенбаевым в совхозе № 10а в Голодной степи, показывают, что использование мелкодисперсного орошения может дать небольшое повышение урожайности — максимум 22 % при одновременном применении его с другими способами полива (поверхностным, бороздковым), однако снижение водопотребления на единицу продукции не происходит, а удельные эксплуатационные затраты увеличиваются почти на 100 руб/га.

Исследования, проведенные в Таджикском сельскохозяйственном институте (Р. Муртазин) в Гиссарской долине, показали целесообразность использования мелкодисперсного орошения при осадках 500 мм и более только в условиях исключительно крутых склонов, где другие методы или невозможны, или требуют огромных капитальных вложений (<2—3 % площадей Средней Азии).

Хотя никто не занимался непосредственным изучением потерь воды на испарение при МДО, имеющиеся материалы по дождеванию показывают, что с уменьшением диаметра капель резко увеличиваются потери на распыл. Так, в опытах

Г. С. Кальянова в Заволжье при диаметре капель 1,5 мм испарялось 5—10 % влаги, а при диаметре 0,5 мм — до 50 %. Поэтому при мелкодисперсном орошении потери влаги будут не менее 50 % в условиях аридной зоны.

Дождевание также имеет ограниченный диапазон применения в условиях аридной зоны из-за климатических и почвенных условий, характерных и для МДО, к которым прибавляются требования по впитыванию — только в сильноводопроницаемых почвах и почвах повышенной водопроницаемости с интенсивностью впитывания за первый час не менее 12 см. С учетом этих ограничений дождевание имеет площадь орошения, возможную к применению в Средней Азии не более 6—8 %, на землях с высоким уровнем пресных или очень слабоминерализованных грунтовых вод (<2 г/л) с влажностью воздуха в вегетацию на уровне 50 % и более. В этих случаях дождевание сможет покрыть, как показывает опыт НИСТО, до 35 % общего водопотребления (≈2,5—3,0 тыс. м^3/га), а остальная часть интегральной эпюры обеспечивается запасами влаги в почве, создаваемыми осадками (10—12 %) и в основном за счет грунтовых вод. При этом, как указывалось нами ранее, многочисленные опыты САНИИРИ свидетельствуют о том, что суммарное водопотребление при дождевании не уменьшается по сравнению с бороздковым поливом, как это утверждалось ранее, а несколько увеличивается — в пересчете на урожай на 18—22 %. Это подтверждается и работой Л. Бернстайна и Л. Франсуаза, которые отмечают, что дождевание в их опытах в Риверсайде в 1970—1972 гг. требовало на единицу урожая столько же или даже больше воды (на 16—19 %), чем при бороздковом поливе при минерализации воды 0,45 г/л.

В условиях хорошей дренированности при почвах с высокой магазинирующей 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.

Следует иметь в виду, что КПД поля в условиях дождевания зависит от относительной влажности воздуха, с уменьшением которой потери влаги в поле увеличиваются; но если при бороздковом поливе потери — это незначительное испарение, остальное — сброс и впитывание, формирующие возвратные воды и используемые вторично, то при дождевании потери в основном состоят из испарения при распыле.

На основе обобщений, проведенных в этой области работ и опытов САНИИРИ, составлен график (рис. 21), который

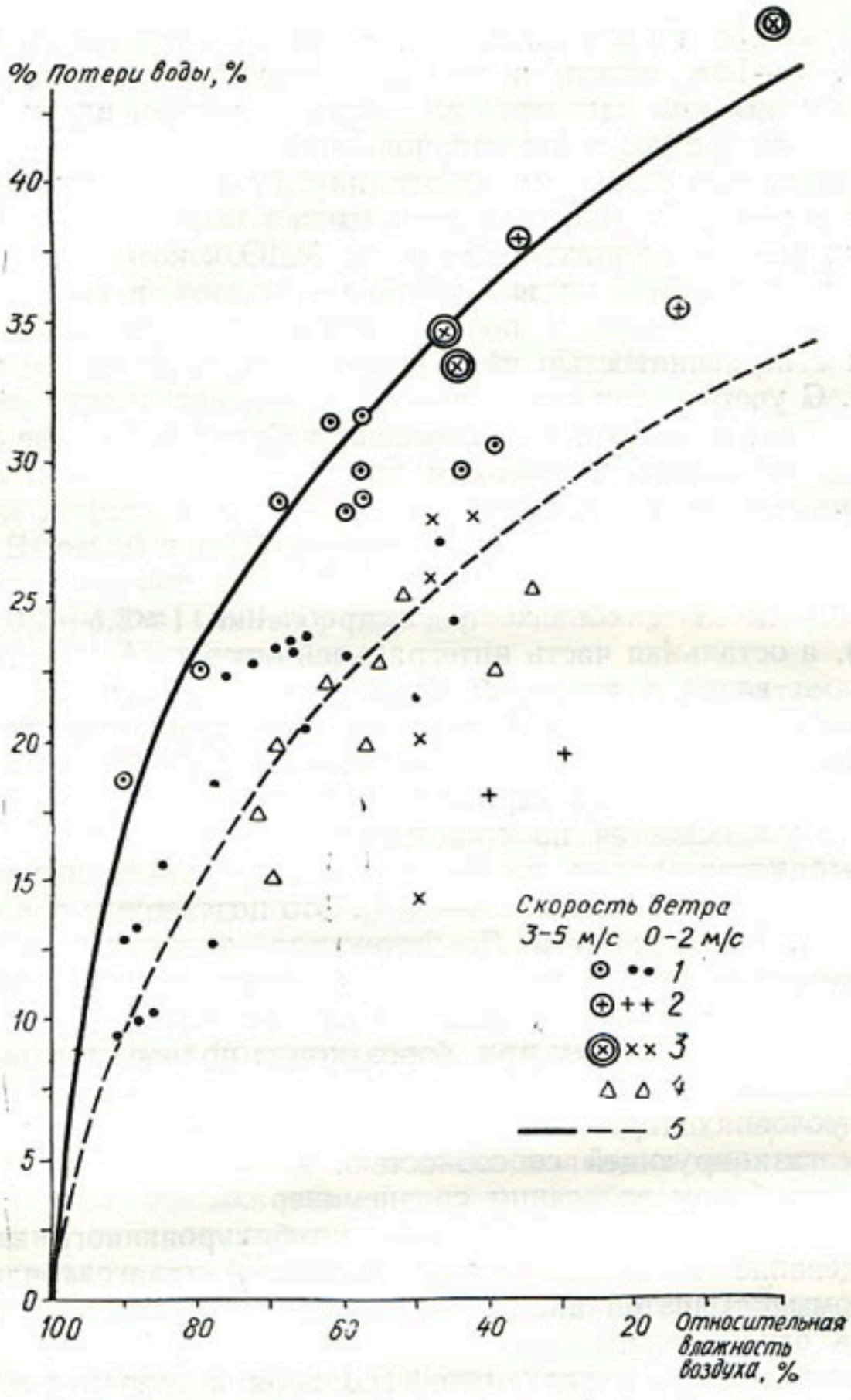

Рис. 21. Зависимость потерь при дождевании от влажности воздуха: *1* — Поволжье; *2* — Байрам-Али; *3* —НИСТО; *4* — Арал; *5* — кривая обобщенная.

показывает зависимость КПД дождевания по воде от влажности воздуха. В США, например, в штате Вашингтон потери при дождевании определены 33 %, в Испании при скорости ветра 2,5—2,8 м/сек — 30 %, при скорости ветра 4,5 м/сек — 35 %.

Эти данные свидетельствуют, что при влажности воздуха свыше 50 % и скорости ветра до 2 м/сек можно получить КПД техники полива, соизмеримый с улучшенными типами бороздкового орошения, при меньших влажностях потери резко возрастают. Этим объясняются многочисленные неудачные опыты и произведенные попытки внедрить дождевание в условиях Каршинской и Голодной степей, где влажность воздуха намного меньше этих величин и большая часть воды не доходит до поверхности поля. Кроме того, даже при частых поливах при дождевании отмечается: опадание завязей, снижение накопления плодоэлементов и коробочек, потеря тургора листьев во второй половине дня в конце июля и начале августа с острыми признаками водного голодания.

Внутрипочвенное орошение (ВПО), включая капельное, за исключением передвижного является достаточно универсальным по климатическим, почвенным и хозяйственным условиям. Капельное орошение применимо на суглинках при хорошей дренированности и при минерализации оросительной воды до 4 г/л (Бернстайн, Франсуаз).

Внутрипочвенное орошение, как свидетельствуют опыты САНИИРИ на производственных участках площадью до 120 га, небольшими поливными нормами способствует сохранению рыхлого пахотного горизонта, повышает аэрируемость, ликвидирует период с водным подавлением растений в момент переполива, предохраняет уплотнение почвы и уменьшает скважность. Поддержание постоянно при ВПО верхнего слоя почвы в рыхлом состоянии способствует минимизации капиллярного подсоса и физического испарения.

Н. Г. Минашина и ее коллектив на этом же участке обнаружили определенные закономерности в солевом режиме на фоне ВПО. Весь прирост солей из ВПО скапливается в слое 0—45 см над увлажнителем под действием физического испарения. Ниже же соблюдается промывной режим. В связи с этим Н. Г. Минашина рекомендует применять ВПО только на слабозасоленных и не подверженных засолению грунтах с минерализацией поливных вод менее 0,5 г/л, хотя и отмечает, что интенсивность соленакопления при ВПО меньше, чем при бороздковом.

Переход на систему ВПО при наличии на увлажнителях песчаных обратных фильтров, выполненных над точечными проколами калиброванными отверстиями вверх, устраиваемыми в комплексе специальной машиной (а. с. 663790), по нашему предложению, не только предотвращает излишний капиллярный сброс из увлажнителей в грунтовые воды, имеющий место при перфорации по кругу, но дает возможность осуществлять промывку слоя 0—45 см на фоне этих увлажни-

Таблица 13

Расчетное изменение водопотребления при различных способах полива

Способ полива	Средняя влажность, % ПГВ		Суммарное испарение в долях к бороздковому	Транспирация, % от суммарного испарения	Физическое испарение, % к суммарному испарению
	поверхности	слоя			
Бороздковое	50	80	1	57	4
Дождевание	58	75	1,03	46	54
Внутрипочвенное	25	85	0,92	67	33
Капельное орошение	25	85	0,71	87,4	12,6

Таблица 14

Сравнительное суммарное водопотребление хлопчатника при различных способах полива

Год	Участок и исследователь	Внутрипочвенное орошение	Бороздковое орошение	Дождевание	Разница, %
1976	Совхоз № 10а Голодной степи, Э. Э. Узенбаев	606	708	—	—14,4
1977	»	558	655	—	—14,8
1974	Совхоз № 9 Каршинской степи, Э. Голданкулов	—	792	816	+3,0
1974	НИСТО	—	788	796	+1,3
1979	НИСТО, Рысбеков	—	807,9	805,7	—0,02
1980	»	641*	685	—	—6,9

* Исправлено на испарение с 22/IV по 26/V—95 мм.

телей. Это позволяет расширить диапазон ВПО орошением водой при минерализации до 1,0 г/л.

Для культур рядового сева ВПО в таком исполнении пригодно лишь в тех условиях, где не требуется для всходов провокационных поливов.

Капельное орошение, по сути, не имеет таких ограничений, но оно может быть рекомендовано для садов и виноградников. Применение ВПО, как и капельное орошение, сдерживается сейчас недостаточным количеством полимерных труб нужных диаметров для прокладки увлажнителей. В настоящее время ведутся работы по увеличению производства таких труб и дешевых грунтополимерных увлажнителей, обжиговых кротователей, которые позволили бы заменить полимерные трубы.

На основе данных САНИИРИ за 1975—1980 гг. и методики, изложенной нами, определены относительные изменения суммарного испарения, а также взаимоотношения между физическим испарением и транспирацией при дождевании, поверх-

ностном орошении, ВПО и КО. Эти результаты приведены в табл. 14 и их можно сопоставить с натурными данными, полученными в опытах САНИИРИ.

Как видно, данные расчетов и опытов достаточно совпадают. Такие же данные получили Л. Бернстайн и Г. Ю. Шейнкин для капельного орошения — уменьшение водопотребления на 27—32,4 %. Таким образом, дождевание в аридной зоне повышает непродуктивную долю водопотребления, а ВПО и КО, особенно последнее,— транспирацию.

Бороздковое орошение наиболее распространено в аридной зоне. Хотелось отметить ряд положений с точки зрения перспективы этого способа в аридной зоне. Для поперечной схемы полива наиболее перспективно применение лотков автоматизированного полива с регулируемой подачей. Технология такой техники полива разработана в САНИИРИ, ВНИИКаМСе и других институтах. При этом КПД техники полива зависит при регулируемой подаче от длины борозды, свойств почвы и уклонов. Кроме того, при уклонах до 0,001 и малой впитываемости может быть рекомендован метод постоянных поливных участков, опробованный нами в Голодной степи совместно с И. Л. Безуевским. Для поперечной схемы полива пригодны только гибкие поливные и системы стационарных поливных трубопроводов. Эти виды техники полива разработаны И. А. Шаровым, Г. Ю. Шейнкиным, усовершенствованы В. А. Суриным в основном для ровных рельефов. Для изрезанных рельефов на трубопроводах должны устанавливаться стабильные сопротивления на каждом выпуске, которые будут подобраны индивидуально в зависимости от длины и уклона каждой борозды таким образом, чтобы регулирование подачи производилось в голове трубопровода.

Возвращаясь к применению способов и видов техники полива в зависимости от способности почв к магазинированию, можно отметить, что влагоемкие высокомагазинирующие почвы (сероземы, луговые и лугово-болотные почвы, староорошаемые, одновременно склонные к засолению) требуют поверхностного полива при возможно большей длине борозды.

Почвы же слоистых субаэральных дельт с большей водоотдачей, так же как и почвы песчаных пустынь, щебенистые, лучше поливать поверхностным поливом только из стационарных систем 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. Тенденция к высокочастотному орошению в последние годы все шире распро-

страняется в ирригационной науке (Роулинз С. (31), Шильфгарде Я. — за рубежом, Г. В. Лебедев, А. А. Рева — у нас в стране). Достаточные возможности применения такого метода очевидны в условиях стационарного дождевания, ВПО, капельного орошения. В настоящее время этот метод используется и при поверхностном поливе, но при очень ограниченной длине борозд в условиях, аналогичных Хорезму. Видимо, для перехода от неоптимальных мелиоративных режимов, которые мы описали здесь, к оптимальным необходимо изменение традиционной техники поливов. Такой переход осуществить до выявления новых способов и методов полива невозможно.

В дальнейшем для аридной зоны перспективным будет создание самовсасывающих ирригационных систем, конструкция которых может быть развита на основе предложений В. Г. Корнева и сейчас разработана к строительству в САНИИРИ. Эта система позволяет регулировать в период малого испарения уровень грунтовых вод, постепенно опуская его в процессе углубления корней и тем самым обеспечивая только питание водой в пределах потребности растения. Одновременно такая система может быть использована и для провоцирования сбросов в дренаж и даже для промывки земель.

Эта система может быть рекомендована для относительно ровных земель, которые могут быть разбиты на делянки под нулевой уклон. Для крутых склонов, земель с большими уклонами, видимо, будущее за машинами в движении и капельным орошением типа дюпоновских трубок.

Для выбора наиболее оптимального типа техники полива по экономическому критерию в дополнение к технологическим, на основании разработанной нами методики, учитывающей наряду с приведенными затратами на эксплуатацию и строительство и водный фактор, КЗИ и затраты труда, определим приведенную стоимость техники полива по формуле:

$$Э_{mn} = E_{mn} + n[K_{mn} + (1 - КЗИ)\bar{К}_s - N\bar{К}_л] + O_р(1 - \eta_{mn})Ц_в \pm \pm \Delta y \cdot Ц,$$

где E_{mn} — затраты ежегодные на полив, руб./га.

K_{mn} — капиталовложения в технику полива, руб./га;

В расчетах принято для Сырдарьи $Ц_в = 0{,}12$ руб./м³; $К_S = 2500$ руб./га; $K_л = 1400$ руб./чел. Базовый вариант — нерегулируемый полив по бороздам из ок-арыков, армированных салфеткой или чимом.

Указанная оценка показывает неэкономичность МДО и в большинстве случаев дождевания, за исключением участ-

ков с влажностью воздуха 50—60% и КПД техники полива 0,85, где показатели $Э_{mn}$ снижается до низких величин. Наиболее экономичным оказывается капельное подпочвенное особо самовсасывающее орошение, но и все виды совершенствования поверхностного полива также очень выгодны в условиях дефицита воды.

ИЗМЕНЕНИЕ ВОДОПОТРЕБЛЕНИЯ В ПРОЦЕССЕ ОСВОЕНИЯ ЗЕМЕЛЬ И ПРИСПОСОБЛЕНИЕ ТЕХНИКИ ПОЛИВА

На основании установленных нами закономерностей изменения водопотребления в процессе освоения земель можно определить по рекомендуемым зависимостям увеличение расчетной ординаты орошения в переходный период. Исходя из природных условий, как было показано нами, а также техники полива, повышающий коэффициент за счет климатических факторов может увеличиваться от 1,2 до 1,8 раза, а за счет инфильтрации — в среднем на 25—30%, но иногда тоже увеличиваясь в 1,5—2 раза.

Методика определения этого увеличения на основе проработок главы II представлена ниже.

Дополнительная водоподача на орошение в условиях перехода от пустыни к оазису состоит из увеличения водоподачи, исходя из изменения относительной влажности воздуха, силы ветра и водоподачи на глубокое увлажнение

$$O_p = O_{p_0} \cdot \eta_t + \Delta П.$$

Первая часть этого выражения определяется умножением нормального водопотребления в условия оазиса на поправочный коэффициент η_t'

$$\eta_t' = \frac{(u+E_{mp})}{(u+E_{mp})_0} = \frac{E}{E_0}\left(1 + 0{,}15\frac{\overline{\omega}}{\omega_0}\right). \qquad (51)$$

Изменение $\frac{E}{E_0}$ в зависимости от относительной влажности воздуха приведено в формуле 8, а $\frac{\overline{\omega}}{\omega_0} = f(t)$ — на рис. 8. Величина глубинного увлажнения определяется как

$$\Delta П = 10^4 (h_t - 1)\,(\theta_{0,8\,mm} - \theta_0), \qquad (52)$$

где h_t — продвижение фронта увлажнения в метрах.

Расчетно и практически, особенно в первые два-три года, ординату гидромодуля приходится увеличивать до 2 и более раз. Сложность состоит здесь в пропуске необходимых расходов по магистральным каналам, в обеспечении техники полива.

Основываясь на описанной выше методике, можно для каждого года освоения и разных участков определить увеличение расчетного гидромодуля для ряда лет и рассмотреть возможность пропуска воды по межхозяйственным и внутрихозяйственным каналам при гидромодуле

$$q_t = \left(\eta_t' + \frac{\Delta П}{O_p}\right) q_o \qquad (53)$$

для разных лет освоения.

При невозможности обеспечить пропуск расчетного расхода по каналам в пределах форсировки возможна дополнительная подача воды из коллекторов, верхних каналов либо использование мероприятий, разработанных и примененных нами на практике.

Для подачи воды непосредственно на поле концевая часть его ранее недосевалась. В последние годы разработаны методы дополнительной водоподачи и для участковых оросителей. При бороздковом поливе из постоянных, гибких или жестких трубопроводов в дополнение к проектным необходимо предусматривать промежуточные для обеспечения расхода и обязательного уменьшения на этот период длины борозд. Необходимо соответственно увеличивать количество машин, работающих в движении, уменьшив нагрузку на них пропорционально увеличению ординаты полива.

При ВПО и КО приходится увеличивать продолжительность тактов полива для обеспечения необходимой водоподачи.

ТЕХНИКА ПОЛИВА И РАСЧЕТНЫЕ ПАРАМЕТРЫ ОРОСИТЕЛЬНОЙ СЕТИ

Надежность системы и согласование работы ее звеньев, взаимоотношение техники полива и оросительной сети в значительной степени зависят от водоудерживающей способности почвы. В зависимости от сочетания вида техники и способа полива с оросительной сетью расчетный гидромодуль оросительной сети и объем резервирования будут различными. Идеальную, с точки зрения удовлетворения потребности растений в воде, технику полива можно было бы представить себе в виде системы, ежедневно подающей воду растениям только в каждой его точке в точном соответствии с изменяющимся во времени графиком водопотребления. Естественно, что такая система с ежедневным поливом, при изменяющейся ординате водопотребления, возможна только при субирригации, капельном и внутрипочвенном орошении, мелкодисперсном и стационарном дождевании. При всех остальных воз-

можных способах полива (поверхностное бороздковое орошение, дождевание передвижное) цикличные периоды поливов сменяются межполивными периодами, при этом в зависимости от способности к магазинированию между периодами полива и межполивными может быть различное сочетание.

При орошении, где величина ежедневного водопотребления соответствует оросительному модулю, все звенья оросительной сети при расчетном водопотреблении и максимальной ординате $q_{0_{max}}$ (ℓ) имели бы расчетные расходы:

$$Q_{i\text{расч}} = F_i q_{max},$$

где Q_i — площадь, подкомандная данному каналу;

q_{max} — максимальная ордината водопотребления, соответствующая набору культур j в составе подкомандной площади

$$q_{maxj} = \frac{\Sigma q_j F_j}{F_i},$$

а в любой промежуток времени аналогично.'

Для системы ВПО, КО, мелкодисперсного, стационарного дождевания с равномерной ординатой полива в течение каждого полива величина расхода канала будет определяться по гидромодулю поливного участка с небольшим коэффициентом запаса, равным величине возможного отклонения метеорологических и климатических показателей от расчетных, а объем резервирования — компенсации объема возможных перерывов в водоподаче от технологических и аварийных перерывов в работе поливных устройств

$q_{oi} = \text{const} \mid_{t_o}^{t_k}$, $Q_{in} = q_j K' \cdot F_{in}$, или при разнородных культурах (55)

$$\Delta Q_{рез} = Q_{in} \cdot \frac{t_a}{t_n}, \quad (56)$$

где Q_{in} — расчетный расход i канала в n-ой водоподаче;

$\Delta Q_{рез}$ — увеличение расхода канала на объем резервирования;

K' — коэффициент потенциальных экстремумов климатических факторов.

При нестационарных методах полива расходы каналов резко увеличиваются. При дождевании, например, передвижном или машинами поверхностного полива, работающими в движении, график работы поливных устройств может быть представлен как

$$Q_{on}(') = Q_{on}\Big|_{t_o}^{t_2} + Q_o\Big|_{t_1}^{t_{i+2}} + Q_o\Big|_{t_{i+2}}^{t_k}, \qquad (57)$$

Q_{on} — расход поливного устройства, поливающего за сутки площадь $f_и$ $t_и$; $t_1 — t_2$ и $t_{i+2} — t_к$ — период работы;

$t_i — t_{i+2}$ — период технологических остановок.

Число поливных устройств, одновременно работающих, должно быть

$$\overline{n} \geqslant \frac{t_n}{t_{мп}+t_n} \cdot \frac{F}{f_u}. \qquad (58)$$

Расчетный гидромодуль

$$q = \frac{Q_{on}}{f} \cdot K' = \frac{Q_{in} \cdot K'}{F}.$$

Расчетный расход канала

$$Q_{in} = Q_{on} \cdot \frac{F}{f} K' \chi. \qquad (59)$$

Кроме того, при открытых каналах резервирования

$$\Delta Q_{рез} = Q_{on} \frac{t_i \rightarrow t_{i+2}}{n_{рез}} = \frac{Q_{on} \cdot t_n}{n_{рез}},$$

где t_n — полезное время полива ($t_o \rightarrow t_к$);

$t_{мп}$ — межполивной период;

t_u — время информативности управления (возможность отключения подачи воды);

χ — коэффициент суточной форсировки;

$n_{рез}$ — возможность использования объема регулирования ($\Delta W_{рез}$) для работы других агрегатов или поливных устройств. Расчет таких емкостей суточного регулирования дан, например, в работе Б. Б. Шумакова (51).

В зависимости от графика работы поливных устройств и их оптимизации может быть достигнута определенная экономия в параметрах сети.

Намного сложнее обстоит дело при современных методах поверхностного полива. Известно, что для обеспечения максимальных равномерности и коэффициента полезного действия полива необходимо осуществлять его в два этапа — добегание большой струей и впитывание меньшей струей.

В многочисленных своих работах А. Н. Костяков, Н. Т. Лактаев и другие при бороздковом поливе рекомендуют

постоянную струю только на период добегания, а затем следует плавно уменьшать ее по мере изменения интенсивности впитывания. Иначе эпюра расхода на поливной участок при бороздковом поливе должна отвечать уравнению:

$$q = q_0(n - \alpha t), \tag{60}$$

где q_0 — нормальный расход впитывания;

$q_0 n$ — увеличение его на период добегания;

α — коэффициент снижения впитывания по А. Н. Костякову.

Так как такая плавная регулировка водоподачей в каждую борозду возможна при условии очень сложного прогнозирования полива, то существующие совершенные поливные устройства позволяют производить изменение эпюры полива ступенчато (лотки автоматического полива, поливные трубопроводы, алюминиевые переносные трубопроводы).

По данным Н. Т. Лактаева, величина n колеблется для различных почв в диапазоне 1,5÷3. Отсюда резко усложняется задача увязки техники бороздкового полива и режимов оросительной сети.

Методика определения расчетных параметров каналов в различных звеньях оросительной сети для прерывистого орошения дана А. Н. Костяковым, развита Н. Ф. Натальчуком, Х. А. Ахмедовым, Г. Ю. Шейнкиным и др. Тем не менее учет динамики параметров техники полива в расчетных пределах канала сделан лишь М. Ф. Натальчуком и В. А. Суриным для орошения поливными трубопроводами при бороздковом поливе в режиме «бегущей волны».

Здесь график поливного устройства по более упрощенной схеме

$$Q_{on} = nQ_в \Big|_{0}^{t_{доб}} + \frac{n}{2} Q_в \Big|_{t_{доб}}^{t_в} + Q_в \Big|_{t_в}^{t_к}, \tag{61}$$

где $n = \pm 1{,}5 \div 3$.

Примем в среднем по Лактаеву $n = 2$ и попробуем, заменив ступенчатой эпюрой криволинейную, получить график работы каналов — участковых распределителей при расходе

$$Q_{in} = O_{on} \frac{F}{f} \cdot K'\chi = Fg\chi, \tag{62}$$

где χ — коэффициент превышения расчетных расходов при неравномерной ординате поверхностного полива.

Определение χ зависит от величины n и от графика согласования работы поливных устройств.

На рис. 22 показан участковый ороситель с площадью 170 га, на котором одновременно должны работать $\bar{n}$ полив-

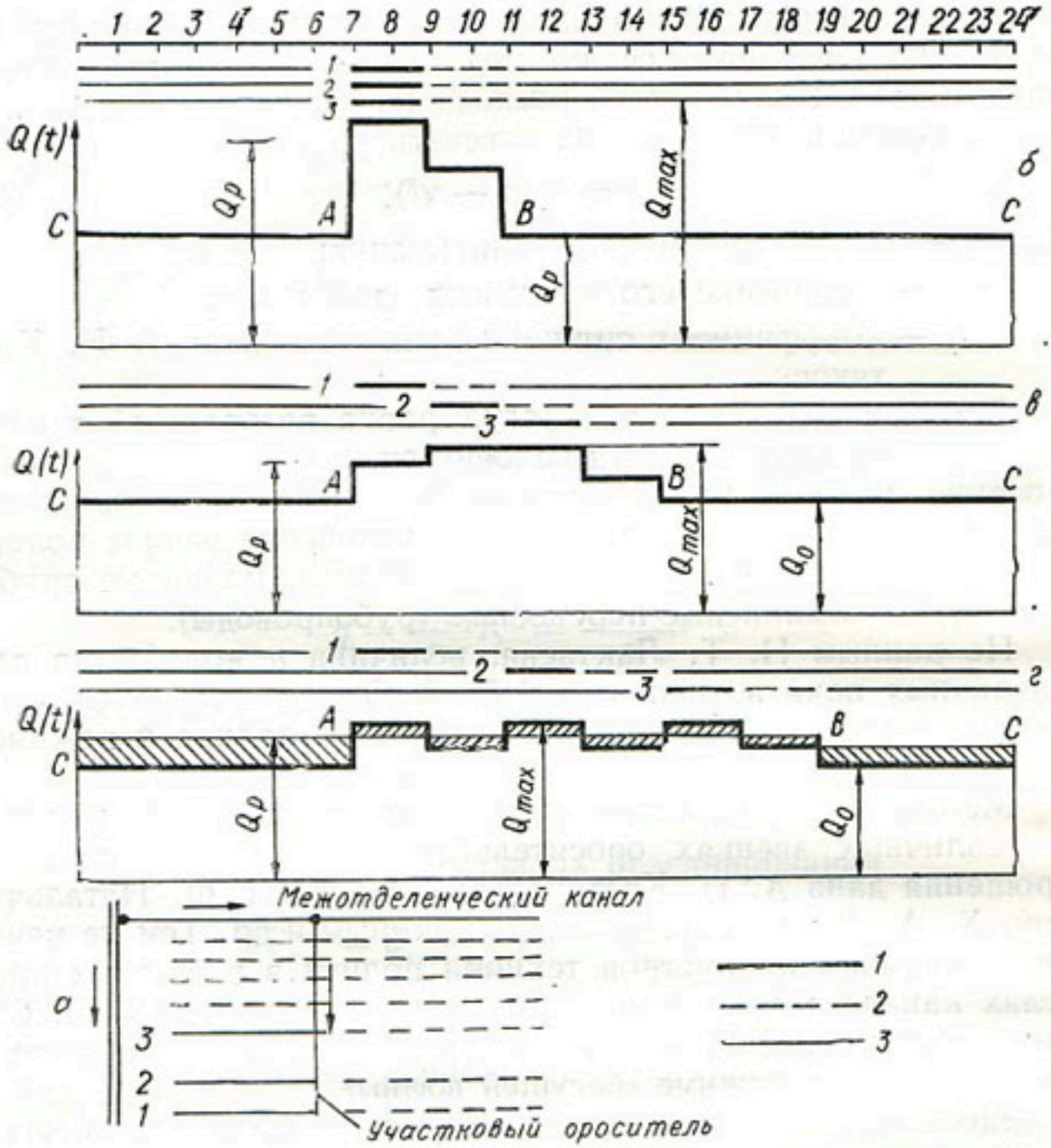

Рис. 22. График поливов трех одновременно работающих поливных устройств поверхностного орошения в течение суток:

а — поливная схема; *б* — кривая одновременного начала полива; *в* — кривая смещенного на одну фазу начала полива; *г* — кривая равномерного распределения начала поливов. *1, 2* — фазы добегания; *3* — фаза впитывания.

ных шлангов с общим расчетным расходом участкового оросителя Q_{max} при гидромодуле q_o л/сек/га. Криволинейную эпюру расходов заменим на ломаную с циклом полива из первого такта добегания в 2 часа с $q = nq_o$, второго такта добегания с $q = \frac{n}{2} q_o$ такой же продолжительности и периода впитывания $q = q_o$. При неуправляемом включении поливных устройств этот процесс может идти стохастично вплоть до одновременно утроенного включения.

В этом случае потребные расходы могли быть в пределе, увеличиваться до $Q = \overline{n} \cdot nq_0$, или быть в n раз больше нормального расхода (рис. 22 б), или принять какие-то промежуточные значения (рис. 22в). Оптимум, видимо, будет при смещении начала работы устройств по схеме 22 г. В этом случае

$$Q_{max} = q_0(n+1),$$

$$Q_{расч} = q_0(n+1) - \Delta Q_{рез} = q_0\chi.$$

Объем резервирования за счет форсировки сверх расчетного горизонта может быть определен по формулам согласно рис. 23.

$$\frac{h'}{h} = (\chi - 1)\frac{b+mh_0}{b+2mh_0}, \qquad (63)$$

$$\Delta Q_{рез} = (L_n \cdot i - h')\frac{L_n}{4}(b + 2mh + mh'). \qquad (64)$$

Таким образом, правильное назначение графика работы поливных устройств способствует уменьшению необходимого запаса в глубине каналов участковой сети. В то же время регулировка в бьефах участковых открытых каналов возможна только в пределах небольшого объема в период АВ, рис. 22 г в период ВСА, поэтому необходимо путем регулирования по нижнему бьефу передавать их в каналы старшего порядка, особенно в крупные каналы, идущие по горизонталям с большим объемом бьефов, где создавать емкости суточного регулирования.

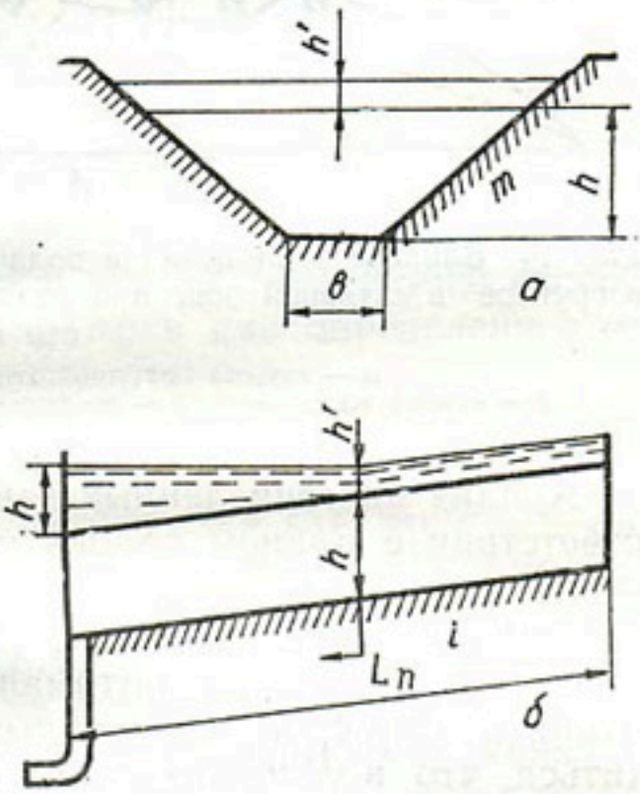

Рис. 23. Схема к расчету объема резервирования в канале и запаса в форсировке режимов дневного регулирования:

а — сечение, *б* — профиль.

В расчетных расходах каналов, кроме неравномерности расходов, связанной с суточным режимом работы поливных устройств, необходимо иметь резервы и запасы в дамбах и емкостях (если запасов бьефов не хватает) для удовлетворения возникающих пиковых потребностей, связанных с ходом сельхозпроизводства и с отклонениями в водоподаче по условиям водозабора, организационным причинам и т. д.

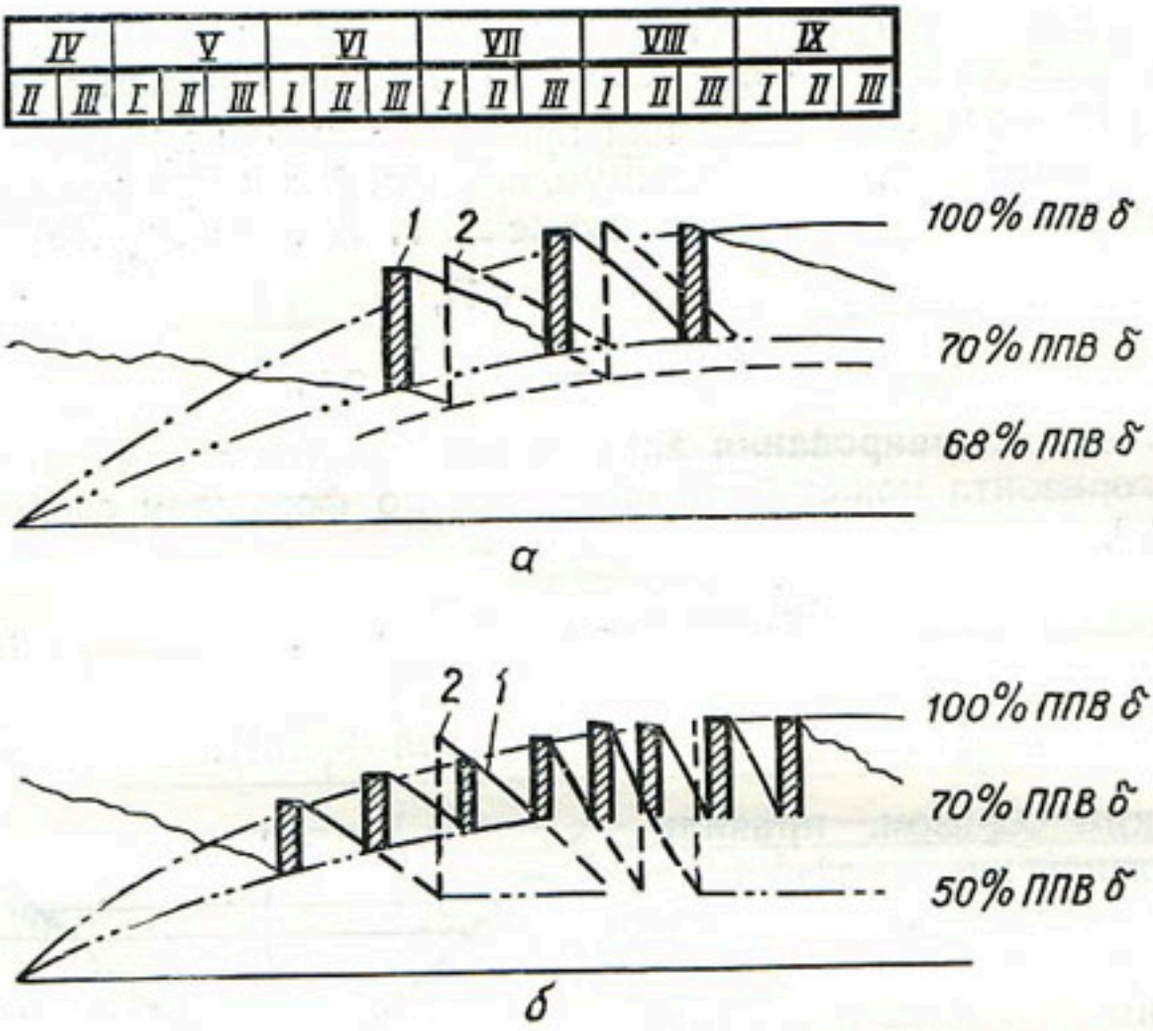

Рис. 24. Влияние отклонений в подаче воды на среднюю влажность почвогрунтов в активной зоне при различной водоудерживающей способности почв:

а — грунты Голодной степи; *б* — грунты Хорезма:
1 — кривая влажности, *2* — предельные отклонения кривой влажности.

Анализ многочисленных данных выполнения поливов в соответствии с планом полива по Голодной степи показывает, что по гистограмме распределения их по отношению к плану отклонение сроков полива с обеспеченностью до 90 % составляет 10 дней в годы оптимальной водности. Поэтому, если принять этот срок нормальным отклонением, то можно убедиться, что в условиях почвогрунтов типа I (Голодная степь, совхоз «Пахтаарал») с высокой способностью к магазинированию (рис. 24а) это отклонение в 10 дней приведет к снижению влажности до 62 % ППВ против допустимых 70 % и к увеличению ординаты гидромодуля на 20—25 %. В условиях слабомагазинирующих грунтов (тип III рис. 24б) влажность снижается уже до 50 % ППВ, а ордината гидромодуля увеличивается на 60 %.

Воспользуясь гистограммой распределения, определим общую необходимость увеличения пропускной способности каналов. Увеличение ординаты гидромодуля в связи с оттяжкой срока полива составляет для каждого разового полива

$$\bar{n} = \frac{t_n + \bar{t}}{t_{mn} + t_n},$$

где $\bar{t}$ — срок оттяжки полива.

С учетом гистограммы распределения $\lambda_к$ обеспеченности среднее увеличение ординаты составит

$$\bar{n} = \frac{\sum_{o}^{100} \frac{t_n + \bar{t}}{t_{mn} + t_n} \cdot \lambda_k}{100}. \quad (65)$$

Отсюда при одинаковом распределении отклонений в первом варианте получаем коэффициент увеличения гидромодуля для варианта а

$$\bar{n} = \frac{1{,}0 \times 1{,}2 + 11 \times 1{,}12 + 12{,}2 \times 1{,}08 + 19{,}4 \cdot 1{,}04 + 4{,}7 \cdot 3 \times 1}{100} = 1{,}05.$$

для варианта б

$$\bar{n}_2 = \frac{10 \times 1{,}6 + 11 \times 1{,}36 + 12{,}3 \times 1{,}24 + 19{,}4 \times 1{,}12 + 47{,}3 \times 1,}{100} = 1{,}24.$$

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 в увязке с водоудерживающей способностью почв и может быть рассмотрен как определенное естественное резервирование водного ресурса

$$q_р = q_o \cdot \chi n_{ср}. \quad (66)$$

В результате коэффициент форсировки для крупных каналов в грунтах с большой водоудерживающей способностью оказывается достаточным в пределах 15—20 % (голодностепские грунты, большая часть Ферганской долины), а при слабоводоемких грунтах эта величина возрастает до 35—40 %, что мы имеем в натуре для хорезмских и ташаузских каналов, которые в течение вегетации работают с форсировкой при гидромодулях 1,4—1,6 л/сек/га.

ВЫБОР АНТИФИЛЬТРАЦИОННЫХ МЕРОПРИЯТИЙ В УВЯЗКЕ С МЕЛИОРАТИВНЫМ РЕЖИМОМ

Требование максимального снижения потерь воды из оросительных каналов путем устройства антифильтрационных одежд должно быть увязано с объемом инфильтрационного пополнения уровня грунтовых вод, необходимого для покрытия питания растений и испарения из грунтовых вод.

Выше было показано, как для различных мелиоративных режимов изменяется взаимодействие между грунтовыми во-

дами и зоной аэрации. Благодаря этому для некоторых мелиоративных режимов (полугидроморфного, гидроморфного) величина подпитывания грунтовыми водами зоны аэрации может намного превышать то количество воды, которое поступает в грунтовые воды путем инфильтрации с поля. Обычно эти величины близки при полуавтоморфном режиме или отличаются незначительно, но требуют пополнения при полугидроморфном режиме. Так, например, в совхозе № 1а Голодной степи 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 орошении с полей достигает 1,5—5,5 тыс. м³/га. В связи с этим для компенсации этих потерь из грунтовых вод необходимо подпитать их за счет дополнительного влагозарядкового (промывного) полива в невегетационный период. В опытах М. С. Меришенского по Хорезму приводятся данные, когда фильтрационные потери в 2—4 тыс. м³/га на ОПУ в колхозе «Правда» 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 необходимости сохранения уровня грунтовых вод к началу следующего гидрологического года на одинаковых отметках, мы можем определить величину КПД

$$\eta_c = \frac{\underline{\Pi}-\underline{O})+O_c\,(1-\alpha)+O_o\;d_2'-Д-(E_m+u)_{гв.}}{O_p\,(d_2'-d_2''+\eta_{mn}\cdot d_2'')} \qquad (67)$$

Для условий нулевого питания подземных вод и при незначительных осадках, принимая для поверхностного полива $\eta'_{mn} = 0{,}65$; $d_2^1 = 0{,}5$, $d_2'' - 0{,}8$, получаем (рис. 25), что при автоморфном режиме необходимо стремиться к нулевым потерям и коэффициенту полезного действия системы, близкому к единице, при полуавтоморфном—на уровне 0,85, а при полугидроморфном — 0,5— 0,6.

Для достижения КПД, близкого к единице, необходимо всю оросительную сеть выполнять трубчатой самонапорной или напорной, магистральные каналы — абсолютно водонепроницаемыми. Такая конструкция оросительной сети разработана нами совместно со «Средазгипроводхлопком» и ГСКБ по ирригации и осуществлена на Караулбазарском канале в Бухарской области расходом 28 м³/сек на длине в 22 км. Здесь в трещиноватых известняках с $K_ф = 200$ м/сут. устройство

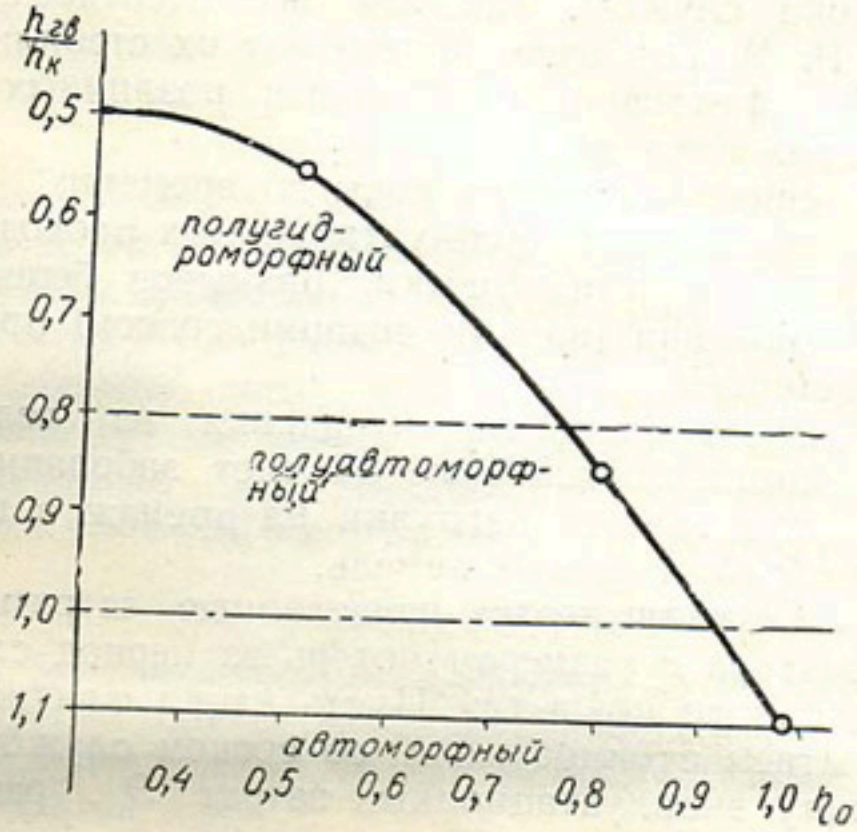

Рис. 25. Величина потребного коэффициента полезного действия систем в зависимости от мелиоративного режима.

экрана канала из водонепроницаемой капроновой ткани, обработанной полиизобутиленом и прикрытой слоем бетона, позволило добиться потерь на фильтрацию, равных нулю при КПД канала в 0,995.

Оросительные системы с КПД — 0,85, как, например, Юго-Западного массива Голодной степи, могут быть представлены трубчатой сетью или лотками и каналами в облицовке из плит по пленке. Если сеть из лотков и труб с земляными закольматированными каналами, устроенными под уровнем грунтовых вод, частично забетонированными на Юго-Восточном массиве Голодной степи, дала суммарный КПД

$$\eta_c = 0{,}78,$$

то повышение КПД сверх определенного, по данным мелиоративных режимов, вызывает необходимость дополнительного проведения влагозапасных поливов для искусственного пополнения уровня грунтовых вод, что, видимо, нецелесообразно.

После определения необходимой величины коэффициента полезного действия следует подобрать конструкции антифильтрационных покрытий, соответствующих им. Обзор существующих методик выбора антифильтрационных мероприятий сделан Р. М. Горбачевым (12). Подведя итоги и сопоставляя методики Б. Г. Чеботкова, Г. В. Воропаева, В. А. Олехновича и других, он приходит к выводу, что все они не учитывают использования возврата от потерь, поступающего через грунтовые воды в дренаж, а затем в реки или другие водотоки. Не менее важен, на наш взгляд, учет изменения антифильтрационных свойств различных одежд в процессе их

срока службы, так как все исследователи, в том числе и Р. М. Горбачев, принимают их стабильными.

Эффективность облицовок различных видов на каналах выражается в:

снижении потерь воды во времени;

уменьшении эксплуатационных расходов за счет сокращения кратности очистки, размывов берегов, их оплывания, уменьшения (или ликвидации совсем) проблемы борьбы с зарастанием;

предотвращении выпадения из сельхозоборота земель в приканальной зоне за счет заболачивания и засоления;

уменьшении нагрузки на дренаж в пределах орошаемых и обрабатываемых земель.

Сопоставляются приведенные затраты с учетом водного фактора с размером потерь за период службы антифильтрационного покрытия. Пусть канал с антифильтрационным покрытием стоимостью K со сроком службы T лет имеет величину эксплуатационных затрат $Э_i$, равную амортизации с нормой Q_i плюс эксплуатационные затраты на содержание, ремонт и т. д. — e_i.

Под влиянием антифильтрационных мероприятий потери воды в канале изменяются по какому-то закону $W_i(t)$ от W_{oi} до $W_{кl}$ (близких к потерям каналов в земляных руслах) при $t = T_i$. В объеме потерь имеется доля на инфильтрацию $W_i(t)\, d_1''$, которая дает нагрузку на дренаж

$$\frac{W_i(t) d_1''}{F' \tau},$$

где τ — период работы канала за год;

F' — зона влияния канала на грунтовые воды окружающей территории.

Для определения расчета дренажа и потерь принимается осредненный показатель за период работы антифильтрационного покрытия

$$W_n = \frac{\sum_0^T W_{ni}(t) \cdot d_1''}{T}.$$

В расчеты необходимо внести поправки на изменение продуктивности прилегающих земель и увеличение коэффициента земельного использования. Последнее может быть учтено аналогично выражению (51) для техники полива. Для определения экономии воды необходимо учесть в динамике изменение потерь в зависимости от срока службы экрана

$$W_{op}(1-\eta_c)\,d_1^{\cdot}\,(1+\gamma t)\Big|_0^{T_э},$$

где γ — увеличение потерь из каналов во времени;

$T_з$ — срок службы экрана в годах.

Если возвратные воды не используются на орошение, эта величина может быть проинтегрирована за срок службы экрана, разделена на него и умножена на стоимость воды $Ц_в$. В случае, если возвратные воды используются, мы должны будем ввести поправку на минерализацию стока, отличную от ПДК. Принимаем, что уменьшение возвратных вод от увеличения кпд системы идет пропорционально соотношению $\frac{Д+С}{W_{op}}$, а при минерализации возвратного стока сверх ПДК вводится уменьшающий коэффициент на необходимость разбавления по методике, изложенной нами в главе IV. Тогда выражение приведенных затрат антифильтрационных мероприятий выразится как

$$\overline{Э}_{ап} = E + n\cdot\left[\frac{K_{ап}}{КЗИ} + (П - П_о)\right] + W_{op}Ц_в d_1(1-\eta_c)$$

$$\left(1 - \frac{C_{пдк}-C_о}{C_{воз}-C_{пд}}\cdot\frac{Д+С}{W_{op}}\right)\frac{\sum_0^{T_э}(1+\gamma t)}{T_э}. \qquad (68)$$

Для определения η_c, T, γt мы использовали результаты своих наблюдений за потерями воды на каналах Голодной степи, обобщения Р. М. Горбачева и ряда других исследователей. В расчетах принята средняя величина удельной протяженности внутри- и межхозяйственных каналов, их средние показатели по Узбекистану соответственно 1,9 и 20 для совершенных систем, 6,6 и 38 пог./м/ га для старых систем.

Приведены величины изменения антифильтрационных свойств во времени для экранов из ударноуплотненных грунтов, монолитного железобетона с использованием комбинированной облицовки.

В результате расчетов для бассейнов рек Сырдарьи и Амударьи мы получили в табл. 15 значения величины приведенных затрат на антифильтрационные мероприятия без учета мелиоративного влияния $(П—П_о)$* и доли возврата, являющихся индивидуальными характеристиками отдельных объектов или каналов. Без учета этих факторов наиболее

---

* Если территория дренируется вблизи канала усиленным дренажем, то $(П—П_0)$ может быть принято равным нулю.

Таблица 15

Сравнительные показатели различных сочетаний покрытий на каналах

Вид сети	КПД сети			Доля инфильтрации в потерях оросительной сети	Срок службы, лет	Коэффициент снижения антифильтрационных свойств во времени	Удельные капиталовложения, руб/га	Эксплуатационные затраты Е, руб/га	КЗИ	Приведенные затраты, руб/га	
	межхозяйственной	внутрихозяйственной	системы							для Амударьи	для Сырдарьи
Межхозяйственные каналы в земляном русле инженерного типа круглогодичного действия при мутной воде, открытая дренажная сеть	0,80÷0,95	0,52÷0,6	0,45—0,54	0,7÷0,80	20	—0,01	245,0	65	0,95	342,2	458,6
То же межхозяйственная сеть периодического действия	0,75÷0,9	0,52÷0,6	0,42—0,5	0,7÷0,8	20	—0,01	245,0	62	0,95	357,8	483,5
То же при чистой воде	0,7 ÷0,85	0,52÷0,6	0,38—0,47	0,7÷0,8	20	—0,005	245,0	57	0,95	373,2	509,2
Межхозяйственные каналы — тип 1, внутрихозяйственные — в земляном русле	0,8 ÷0,95	0,65÷0,75	0,52—0,6	0,7÷0,8	20	—0,01	245,0	65	0,95	322,0	427,4
То же в супесях	0,8 ÷0,95	0,6 ÷0,71	0,5 —0,57	0,6÷0,7	20	—0,01	245,0	65	0,95	359	484
Межхозяйственные каналы в монолитной облицовке, внутрихозяйственные — в лотках	0,85÷0,96	0,86÷0,9	0,65—0,78	0,5÷0,6	30	+0,033	989	22,5	0,975	314	398

793

133

Продолжение

Вид сети	КПД сети			Доля инфильтрации в потерях оросительной сети	Срок службы, лет	Коэффициент снижения антифильтрационных свойств во времени	Удельные капиталовложения, руб/га	Эксплуатационные затраты Е, руб/га	КЗИ	Приведенные затраты, руб/га	
	межхозяйственной	внутрихозяйственной	системы							для Амударьи	для Сырдарьи
Межхозяйственные каналы—тип 6, внутрихозяйственные—в бетонной облицовке	0,85÷0,96	0,75÷0,86	0,6 ÷0,75	0,5÷0,7	18	+0,05	829	18	0,96	331	432
Межхозяйственные каналы—тип 6, внутрихозяйственные — в трубах	0,85÷0,96	0,92÷0,96	0,8 ÷0,9	0,4÷0,6	38	+0,03	909	16,2	0,985	200	264
Межхозяйственные каналы в сборной облицовке по пленке или ткани, водохозяйственные — в лотках	0,9 ÷0,98	0,98÷0,9	0,75÷0,88	0,5÷0,7	32	+0,01	1027	19,2	0,96	192	249

экономичными являются для наших условий системы с комбинированным или бетонным покрытием каналов межхозяйственной и внутрихозяйственной сети в лотках и трубах.

РАБОТОСПОСОБНОСТЬ ДРЕНАЖНОЙ СЕТИ

Обеспечение устойчивого мелиоративного благополучия земель зависит, с одной стороны, от надежной работы дренажного фона, гарантирующего поддержание на всей площади поливных земель необходимого уровня грунтовых вод, отвод при этих уровнях расчетного расхода дренажных вод и, с другой стороны, от равномерного воздействия инфильтрующихся вод на динамику соленакопления.

Из баланса солей зоны аэрации (пренебрегая осадками и поглощением солей растениями) соленакопления не будет, если

$$(E_{\text{т}} + u_{\text{г.в.}}) \cdot C_{\text{гв}} + O_{\text{р}} \cdot \eta_{mn} \cdot C_{\text{ор}} - M \cdot C_{\text{п}} = S_{\text{к}} - S_{\text{о}} \geqslant O. \quad (69)$$

В этом выражении пространственная изменчивость в зависимости от надежности работы системы характеризуется величинами испарения грунтовых вод и промывной долей водоподачи.

Первая функция обеспечивается работой дренажа. Так как в расчетах участкового дренажа расчет ведется без учета пространственной работы его в условиях реальной системы, то нетрудно показать, что в зависимости от схемы дренажа и коллекторов могут быть выведены средние и предельные величины отклонений для величины соленакопления как функции уровня грунтовых вод. По нашим наблюдениям совместно с В. И. Батовым за рядом участков на фоне горизонтального дренажа в Голодной степи и по обобщению данных натурных исследований (В. Г. Насонов, С. Шмидт), отклонения уровня грунтовых вод от расчетного в основном уменьшают, сокращают интенсивность соленакопления, создавая определенный запас. При этом средняя глубина на междренье при полученной схеме на 16 % больше расчетной, а средняя максимальная — на 21 %. Одновременно достигается 88—90 % обеспеченности больших глубин расчетной. Таким образом, с точки зрения обеспеченности уровней грунтовых вод при поперечной схеме дренажа имеется определенный запас, который, как показывают и теоретические проработки на АВМ, тем больше, чем меньше соотношение $\frac{B}{L}$, так как при этом интенсивность растекания увеличивается.

С другой стороны, в зависимости от ряда мелиоративных параметров можно определить вероятность нарушения соле-

вого режима почвогрунтов при нормально работающем дренаже. Из выражения (45) легко получить:

$$\Delta S = \frac{C_{гв} \cdot u_o}{h_к^2} h_z \left(1 - \frac{\sum_o^p P_i \frac{h_{ri}}{h_p}}{100} \right) \left[2h_к - h_z \left(1 + \sum_o^p \frac{P_i \cdot h_{ri}}{h_p - 100} \right) \right]. \quad (70)$$

Для полученных нами результатов это выражение превращается в

$$\Delta S = \frac{C_{гв} \cdot u_o \; h_z}{h_к^2} \cdot 0{,}14 [2h_к - 2{,}14 h_z]. \quad (71)$$

Таким образом, чем больше высота капиллярного подсоса и ниже уровень грунтовых вод, тем вероятность соленакопления меньше, а при переходе мелиоративных режимов от автоморфного к полугидроморфному наблюдается уменьшение надежности опреснения почвогрунтов. Действительно, в выражении (71):

для автоморфного и части полуавтоморфного режимов	при $h_Z > 0{,}97 h_K$; $\Delta S < 0$ соленакопления нет,
для полуавтоморфного режима	при $h_Z < 0{,}8\, h_K$; $\Delta S = 0{,}03$ $C_{гв} u_0$,
для полугидроморфного режима	при $h_Z = 0{,}6 h_K$; $\Delta S = 0{,}06$ $C_{гв} u_0$.

Соответственно, пользуясь этой методикой для обеспечения 100%-ного мелиоративного эффекта, необходимо увеличивать промывную норму на величину $K'_q = \frac{\Delta S}{S_0}$.

Для описанных условий этот коэффициент составит для полуавтоморфных условий при $h_Z = 0{,}8 h_K$ и $C_{гв} = 7$ г/л $K'_q = 0{,}08 - 0{,}1$, для полугидроморфных условий при $h_Z = 0{,}6$ и том же $C_{гв}$ $K'_q = 0{,}16 \div 0{,}2$. Кроме увеличения промывной нормы, необходимо определить равномерность воздействия способа полива на промывной режим. Промывная доля M, как было показано, складывается из промывной нормы специальной, промывного эффекта осадков и промывной доли орошения. Осадки распространяются по площади равномерно. Промывная доля вегетационных поливов при подпочвенном орошении, как показали опыты Н. Г. Минашиной на участке ВПО в совхозе № 10, имеет степень равномерности $\approx 70\%$ в плохо дренированных условиях и менее 50% на бороздковом поливе.

При поверхностном поливе, характеризующемся неравномерностью инфильтрационных токов по длине поливного участка в зависимости от сочетания ее с изменяющейся под действием дренирования глубиной грунтовых вод, создается большая дифференциация соленакопления под действием поливов и работы дренажа, которую в последующем надо учитывать в распределении специальных промывных поливов (M_{is}) по площади.

Рассмотрим для примера сочетание поперечной схемы полива с нерегулируемой подачей с головы борозды с поперечной схемой дренирования горизонтальным дренажем. Принимая для расчета наиболее невыгодную полосу АВ по оси междренья, рассмотрим для нее распределение воздействующих элементов солевого баланса зоны аэрации (17) и его распределение по длине полосы АВ от коллектора к лотку.

В уравнении выразим ΔS через составляющие

$$\Delta S = C_{\text{гв}} \cdot u_{\text{o}} \frac{(h_{\text{к}} - h^2)^2}{h_{\text{к}}^2} - O_{\text{p}}(1 - \eta_{\text{пп}}) d_2' C_{\text{п}} + O_{\text{p}} \eta_{\text{пп}} C_{\text{п}} =$$

$$= C_{\text{гв.}} \cdot u_{\text{o}} \left[\frac{h_{\text{к}} - h_{\text{q}} + \bar{h})^2}{h_{\text{к}}^2} - \bar{K}(1 - \eta_{\text{пп}})\, d_2' - \frac{C_{\text{п}}}{C_{\text{гв}}} + \bar{K} \eta_{\text{пп}} \cdot \frac{C_{\text{o}}}{C_{\text{гв}}} \right];$$

$\bar{h}$ можно получить по любому из известных уравнений стационарного притока к дрене в межполивной период, например рекомендованному В. А. Ионатом, С. Ф. Аверьяновым и др.

На рис. 26 показаны результаты расчетов для $h_{\text{к}} = 3{,}5$; $h_q = 3{,}0$, $H = 1{,}0$, $l = 0{,}005$ м/сут; $K = 0{,}5$ м/сут; $I = 400$ м; $\eta_{\text{пп}} = 0{,}7$; $d_1^2 = 0{,}6$; $\frac{C_{\text{п}}}{C_{\text{гв}}} = 1$; $\frac{C_{\text{o}}}{C_{\text{гв}}} = 0{,}12$. При правильно расположенной схеме (*а*) направления поперечного полива и поперечного дренажа совпадают, в неправильно расположенной в схеме (*б*)—направления противоположны.

В первом случае эпюра $\frac{\Delta S_{\text{x}}}{\Delta S_{\text{o}}}$ лежит ниже расчетной со средневзвешенным запасом по полю в 1,6 раза, не требуя нигде увеличения промывной нормы сверх расчетной. При встречном же направлении дренажа и полива неравномерность засоления увеличивается в 3,5 раза и $\frac{1}{3}$ поля оказывается с увеличенным сверх расчетного соленакоплением, что требует повышения M_{iS} в 1,5—1,8 раза на площади в 38% поливного участка. При данных параметрах и расположении по схеме *а* работоспособность $\Delta_{\text{п}} = 1{,}1$ при 90%-ной обеспеченности, а по схеме *б* $\Delta_{\text{п}} = 0{,}5$ при той же обеспеченности.

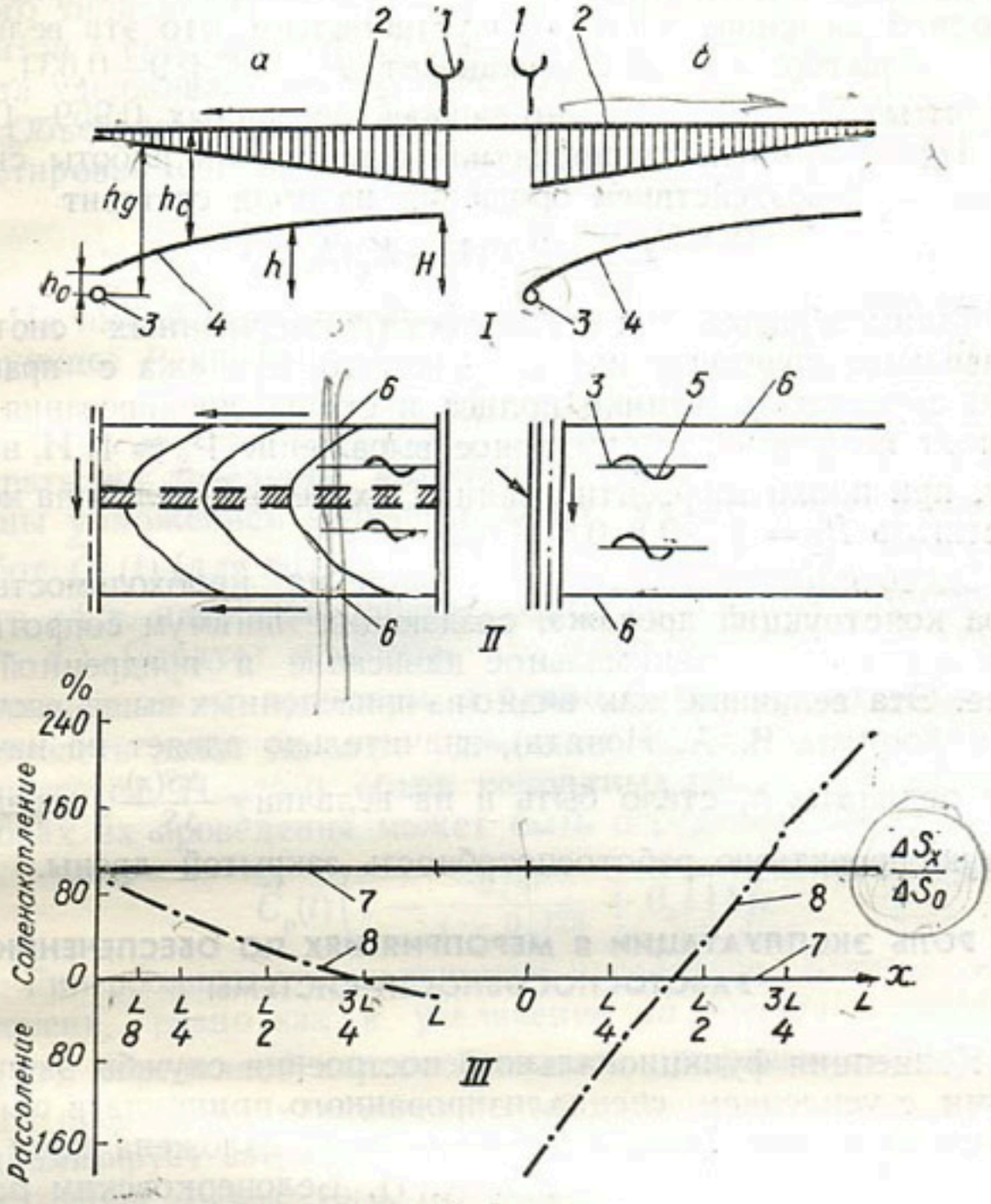

Рис. 26. Обеспеченность рассоляющегося эффекта при различном сочетании направления поверхностного полива и дренажа:

а — при совпадающем направлении; *б* — при встречном направлении.
I — разрез; *II* — план; *III* — кривая соленакопления.
1 — лоток; *2* — эпюра инфильтрации; *3* — коллектор; *4* — кривая депрессии; *5* — направление полива; *6* — дренаж; *7* — среднее расчетное соленакопление в зависимости от взаимодействия дренажа и инфильтрации; *8* — распределение соленакопления в зависимости от взаимодействия дренажа и инфильтрации.

Как видно, правильное расположение дренажа и техники полива позволяет увеличить запас в мелиоративном эффекте проектной системы дренажа.

Для того чтобы получить суммарную работоспособность рассоляющей части оросительной системы, необходимо полученные значения надежности умножить на вероятность без-

отказной работы системы дрена — коллектор — водоприемник. В одной из наших работ (17) установлено, что эта величина для открытого дренажа составляет $P_{co} = 0{,}489 \div 0{,}634$, для закрытых систем, правильно запроектированных, $0{,}969 \div 0{,}974$.

Тогда вероятность проектной безотказной работы систем дренажа с воздействием орошения на поля составит

$$P_{\Sigma} = P_c x (1 - K_g) \Delta_m.$$

Таким образом, при технически совершенных системах правильное сочетание схемы закрытого дренажа с правильным сочетанием техники полива и схемы дренирования позволяет получить это суммарное выражение $P_{\Sigma} \geqslant 1$. И, наоборот, при плохо запроектированной схеме эта величина может достигать $P_{\Sigma} = 0{,}5 \cdot 0{,}8 \cdot 0{,}5 = 0{,}2$.

Здесь следует обратить внимание на необходимость выбора конструкций дренажа, создающих минимум сопротивления при входе и минимальное нависание в придренной полосе. Эта величина, как видно из приведенных выше расчетов (h в формуле В. А. Ионата), значительно влияет на изменение ординаты h, стало быть и на величину $\frac{\Delta S(x)}{\Delta S_o}$, определяющую проектную работоспособность закрытой дрены.

РОЛЬ ЭКСПЛУАТАЦИИ В МЕРОПРИЯТИЯХ ПО ОБЕСПЕЧЕНИЮ РАБОТОСПОСОБНОСТИ СИСТЕМЫ

Концепция функционального построения службы эксплуатации с усилением специализированного принципа в организации ее в современных условиях была изложена нами совместно с А. В. Бочариным и К. И. Белоцерковским ранее. Исходя из этих принципов, водораспределение и мелиоративный контроль являются теми функциями, нормальное обеспечение которых людскими и материальными ресурсами гарантирует повседневную оперативную работоспособность системы. Однако технологическая работоспособность системы в целом и ее конструктивных элементов зависит от ее состояния, которое определяется, как уже говорилось, начальной работоспособностью (проектной и строительной) и выполнением плана ремонтных мероприятий или системы технического обслуживания. Это может быть подтверждено примером закрытого дренажа или лотковых каналов.

Анализ нарастания отказов лотковых каналов из бетона марки 200 при ряде наблюдений (20 лет) показал, что без аварийных и профилактических ремонтов на ряде каналов в совхозах №6 и 1 в Голодной степи работоспособность их снижалась

на 30%. Предполагается, что к 23-му году службы каналы этого типа выйдут из строя. При проведении аварийных ремонтов в среднем один раз в 6—8 лет работоспособность канала удерживается на уровне 95,5 % в среднем*.

Объем безотказной работы лотковой сети может быть интерпретирован не параболой, как ранее, а гиперболой типа

$$\overline{P} = \frac{2,47}{t + 0,228} - 0,111 \ (t > 2). \qquad (72)$$

На любой период времени t может быть получено соответствующее P значение отказа

$$Q(t) = 1 - \overline{P}(t),$$

затраты на доведение которого до нуля могут быть выражены умножением величины $Q\ (t)$ на удельную стоимость работ $\overline{C}_{\text{р}}\ (t)$ (для лотков—замена элементов, увеличение защитного слоя, нанесение упрочняющих эпоксидных компаундов и т. д.). Следует отметить, что характер работ по ремонту усложняется со временем, а стало быть, $\overline{C}_{\text{р}}\ (t)$ — удельная стоимость работ по мере удлинения междренного срока увеличивается. Поэтому объем ремонтных работ при различных сроках их проведения может быть определен как

$$\overline{C}_{\text{р}}(t)\left(1 - \frac{2,47}{t + 0,228} + 0,111\right).$$

Гиперболическая зависимость нарастания отказов его во времени, равно как и увеличение со временем величины $\overline{C}_{\text{р}}\ (t)$, определяет целесообразность профилактического раннего проведения технического обслуживания, так как оно минимизирует затраты на поддержание сети в исправном состоянии. Кроме того, периодическая замена выходящих из строя элементов делает возможным сохранение всех конструктивных элементов оросительной системы, постоянно, как это показано на рис. 27, обеспечивая долговременное взаимодействие оросительных систем с природными и экономическими факторами.

В то же время поддержание оросительной системы связано с определенным экономическим эффектом. Действительно,

---

* P—объем безотказной работы по методике Ц. Е. Мирцхулавы есть величина, сопряженная с количеством отказов Q. Общая работоспособность всей системы может быть получена сочетанием величины $\overline{P}$ с технологической работоспособностью, определенной нами выше как $\Delta\ (t)$, показывающей отклонения в соблюдении технологических параметров. $C_{\text{р}}\ (t)$ является переменной функцией, уменьшающейся по мере увеличения удельного объема ремонтов.

каждому году (t) в межремонтном периоде $t_{мр}$ будет соответствовать своя работоспособность $\overline{P}(t)$. Ущерб от этого уровня будет равен недополучению продукции $\Delta V_i Ц_i$ из-за необеспеченности водой или стоимости дополнительных эксплуатационных работ на компенсацию недодачи временными земляными каналами ($\Delta Э_р$) и омертвления неиспользуемых отказавших фондов $(n+a)\cdot\overline{Ф}_р[1-\overline{P}(t)]$. В итоге с учетом разности себестоимости работ из-за малого объема их оптимизационная функция представится как

$$\frac{\sum_{o}^{т}[ф_р(n+a)+(1+К_м)\cdot C_р(t)][1-\overline{P}(t)]+\Delta Э_р}{t_{мр}}+\Delta y\cdot Ц\to \min. \qquad (73)$$

Подставив в это выражение значения при переменном $t_{мр}$ и связи $C_р$ и $\overline{P}(t)$, мы получаем возможность анализировать сроки периодичности ремонтных работ по различных видам.

Аналогичные исследования закрытого дренажа, проведенные под нашим руководством В. В. Хегаем и Н. С. Козубом, показали экономическую целесообразность профилактических ремонтных работ — промывок, очистки колодцев, при которых достигается работоспособность, близкая к 100% (аналогично кривой 3 на рис. 27).

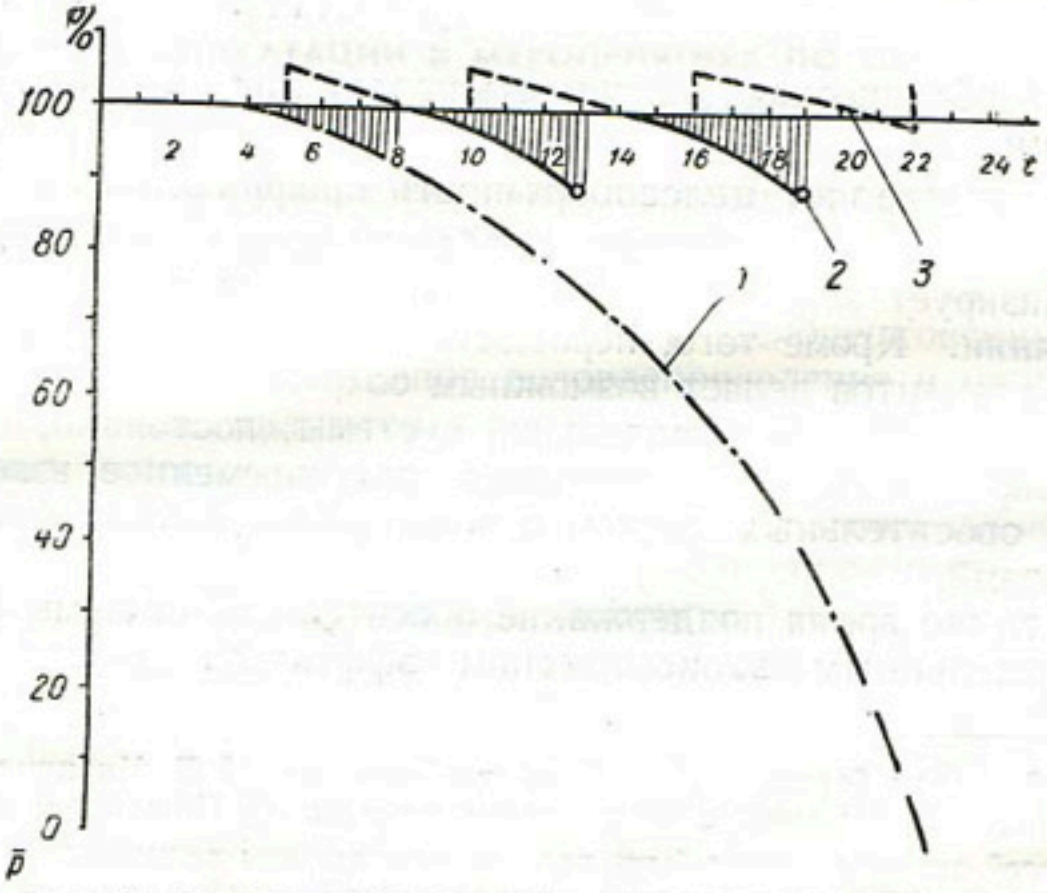

Рис. 27. Кривые работоспособности лотковых каналов:

1 — без ремонта; *2* — с периодическим ремонтом; *3* — с предупредительным техобслуживанием.

Такой подход позволяет планировать ремонтные работы для обеспечения высокой эксплуатационной надежности оросительной системы в целом.

Глава IV

ОРГАНИЗАЦИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА И ОСВОЕНИЕ ЗЕМЕЛЬ ПРИ СОЗДАНИИ ПРИРОДНО-ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ИРРИГАЦИОННЫХ КОМПЛЕКСОВ

ВИДЫ РАБОТ ПО СТРОИТЕЛЬСТВУ И ОСВОЕНИЮ И ИХ УВЯЗКА С ПЕРИОДАМИ ФОРМИРОВАНИЯ КОМПЛЕКСА

Как было установлено в главе 1, основными процессами формирования ППИК являются строительство и освоение, благодаря чему осуществляется планомерное его создание.

Все объекты природно-производственного комплекса могут быть подразделены по назначению и своей роли в нем, как это было показано на рис. 2. В то же время, для того чтобы установить очередность выполненных в процессе создания ППИК работ, включая проектирование, строительство и освоение, целесообразно выделить основные направления строительства (рис. 28): стройиндустрия и базы (1), межхозяйственные коммуникации (2), водохозяйственное строительство (3), совхозное промгражданское строительство (4), прочие отрасли и сооружения (5).

Разделение работ и объектов по видам не совпадает в полной мере с периодами формирования комплекса, указанными в главе 1. В частности, в подготовительный период нет необходимости строить все магистральные каналы и коллекторы или все базы стройиндустрии, как это будет показано далее. В подготовительный период для минимального замораживания объектов должны быть выполнены только те объекты, которые обеспечат начальный этап основных работ и освоения. В последующем наращивание объектов подготовительного назначения должно производиться по мере роста объема основного производства, но обязательно с опережающими темпами по отношению к ним.

Объем головных водоподающих сооружений, часть магистрального питания водоотвода и инженерных коммуникаций, обеспечивающая начало развернутого строительства, возможность ввода земель и начало освоения их выполняются в подготовительный период, а в последующем производятся по мере ввода земель в увязке с ними. При этом для каждого отдель-

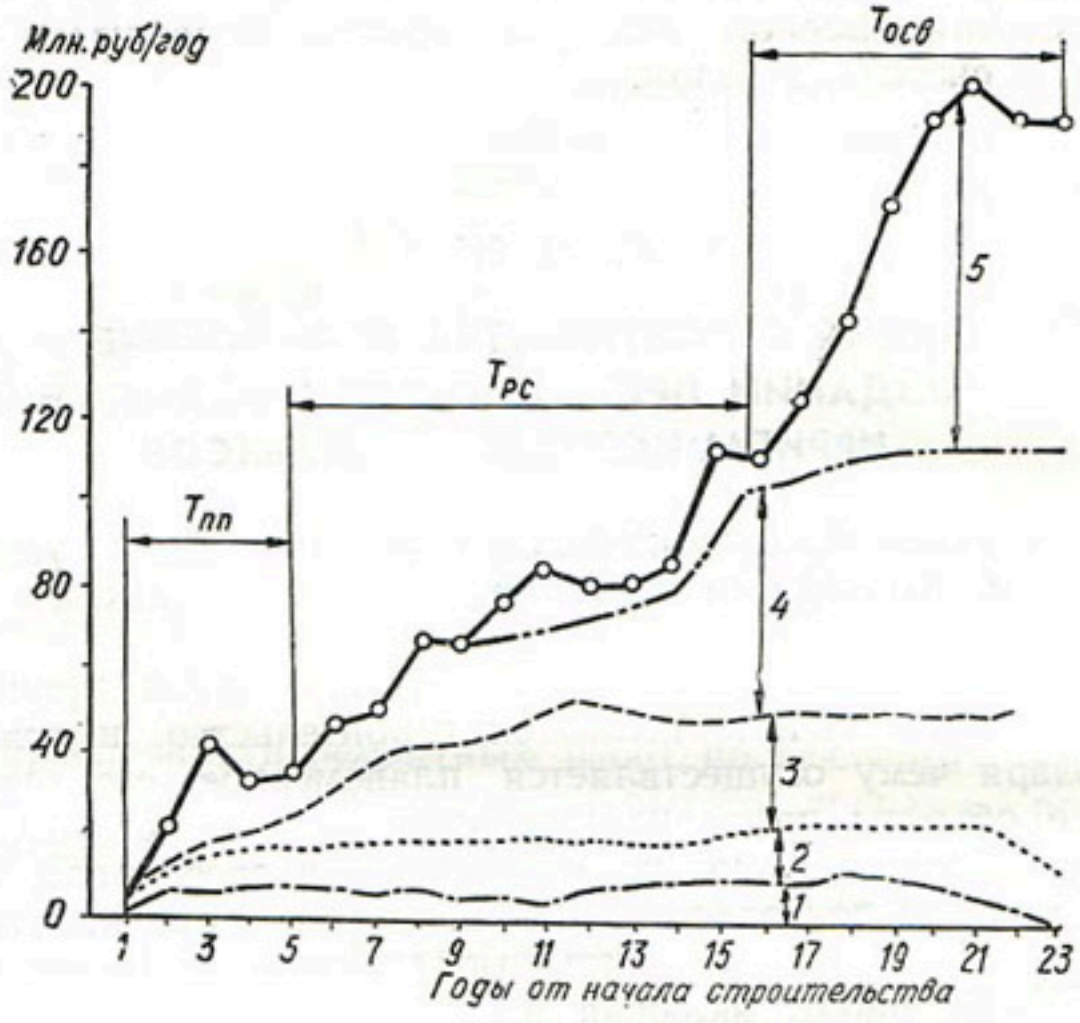

Рис. 28. Динамика составляющих капиталовложений по Голодной степи в различные периоды:

1 — стройиндустрия и базы; *2* — межхозяйственные коммуникации; *3* — водохозяйственное строительство; *4* — совхозное строительство; *5* — прочие отрасли и сооружения.

ного элемента ввода (хозяйства или его части) должно соблюдаться условие:

$$t_{нзi} \leqslant t_{ki};\ t_{mxi},$$

где $t_{нзi}$ — время начала ввода земель i участка;

t_{ki} и t_{mxi} — соответственно время окончания строительства подводящих инженерных сооружений и межхозяйственных водных коммуникаций как оросительных, так и дренажных.

Объем основных работ разворачивается пропорционально освоению, а объекты вспомогательного назначения—так же пропорционально производству сельскохозяйственной продукции. Определение этих объектов в оптимуме исходит из состава сельскохозяйственных угодий для данной зоны, установленных на расчетный период и ближайшую перспективу нормативов нагрузок, урожайности культур. На основе этого производится обсчет всех необходимых объектов освоения (ремонтные базы, склады, хранилища, пункты первой

переработки, животноводческие помещения), потребных трудовых ресурсов, предприятий переработки продукции и т. д.

Этот перечень объектов не зависит от темпов строительства и освоения, а только от конечного объема сельскохозяйственного производства на расчетный срок и может быть принят по принципам, изложенным нами в главе 1 на основе схемы модели табл. 2 и зависимостей (1÷5) для определения объемов производства различных отраслей.

ОПТИМИЗАЦИЯ СРОКОВ ПОДГОТОВИТЕЛЬНЫХ И ОСНОВНЫХ РАБОТ

Объекты подготовительного периода можно разделить на два вида: определяемые темпами ввода земель и определяющие их. К первым относятся объекты магистральных коммуникаций, которые должны быть возведены до начала комплексного ввода земель для того, чтобы обеспечить их питание водой оросительной и питьевой, энергией, связью, автомобильными дорогами. Для этих объектов задача сводится к минимизации замораживания капиталовложений по объему и времени, которая должна быть достигнута выбором места размещения земель, вводимых в эксплуатацию на начальном этапе освоения, и последующей очередностью работ. Часть объектов этого типа влияет на эффективность строительства, если они, будучи построены заранее, позволяют строителям, пользуясь ими, не строить временные сооружения для этой цели, например, дороги, ЛЭП, линии связи, водоводы. Своевременно построенные дороги позволяют снизить стоимость и время транспортировки строительных материалов, количество потребного для этого транспорта.

К объектам, определяющим темпы ввода земель, относятся базы стройиндустрии, базы строительства, жилые поселки для строителей. Мощности этих объектов определяются потребностью строительства в изделиях, материалах, рабочей силе и т. д. Поэтому на основе технического проекта должны быть определены объемы на строительство единичных объектов, приходящихся на 1000 га вводимых орошаемых земель (табл. 16).

Продолжительность подготовительного периода влияет на степень замораживания капиталовложений и поэтому во многом определяет конечную эффективность комплекса. Для самотечных систем с несложной схемой головного питания длительность его зависит, в основном, от объема создания баз строительства и стройиндустрии, как это было в Голодной степи, где этот период составил 4,5 года. Для систем машинного питания или связанных со строительством водохранилищ

Таблица 16

Определение объема и стоимости баз на единицу ввода земель в год (1000 га) для Голодной степи

Ресурсы, изделия, материалы	Объемы на 1000 га	Стоимость капиталовложений на создание базы на 1000 га $K_{б}$, тыс. руб.
Объемы СМР объектов основного назначения, млн. руб.	7,3	18,47
Железобетонные сборные конструкции, тыс. м³	14,6	963,4
Домостроительные комбинаты, тыс. м²	6,2	863,2
Дренажные трубы, тыс. км	0,08	320,0
Металлоконструкции, тыс. т	1,1	394,0
Гравийно-песчаные материалы, млн. м³	25,6	307,0
Механизированные работы, млн. руб.	2,1	400,0
Объем перевозок, млн. т/км	17,7	360,0
Базы комплектации, млн. руб.	2,8	420,0
Итого	—	5874,6

продолжительность подготовительного периода исходит из минимального срока возведения этих объектов. Так, на Каршинской системе подготовительный период продолжался с 1963 по 1972 г.— 9 лет в связи с необходимостью возведения уникального машинного каскада с 6-ю насосными станциями и каналами на расход 200 — 350 м³/с на высоту подъема более 150 м.

Если продолжительность подготовительного периода определяется объемом баз стройиндустрии и строительства, очень важно подобрать такое соотношение «объем баз — темпы ввода земель», при котором суммарная эффективность будет максимальной.

В первом приближении принимаем, что весь объем базы выполняется в подготовительный период, а темпы капиталовложений по годам развернутого строительства одинаковы так же, как и темпы ввода земель. Тогда, чтобы найти оптимальное соотношение между объемом строительства баз и темпами ввода земель, необходимо оптимизировать функцию суммарных затрат и доходов, приведенную к моменту завершения освоения.

Примем общую площадь массива за F при удельной стоимости основных и вспомогательных работ $C_{осн}$, тогда потребный объем строительства составит на период развернутого строительства и освоения:

$$K_{о} = \overline{C}_{осн} \cdot F.$$

В период развернутого строительства и освоения $T_{ст} \div T_{осв}$ ежегодные капиталовложения составят

$$K_o(t) = \frac{\bar{C}_{осн} \cdot F}{T_{стр} + T_{ос}},$$

а мощность базы для этого должна быть

$$K_б = \bar{K}_б \frac{F}{T_{стр} + T_{ос}}. \qquad (74)$$

Чем выше темпы ежегодного ввода орошаемых земель, тем больше суммарный эффект, который в основном формируется при освоении земель, но в то же время увеличиваются объемы, срок подготовительного периода и капиталовложения. Исходя из этого, оптимизационная функция, приведенная к концу освоения, может быть выражена как

$$\bar{K}_б \frac{F}{T_{стр} + T_{ос}} \cdot (1+n)^{\tau_{ос} + \tau_{стр} + \frac{\tau_{пп}}{2}} + \frac{C_{осн} \cdot F}{T_{стр} + T_{ос}} (1+n)^{\tau_{стр} + \tau_{ос}} -$$

$$- \sum_{\tau_{пп}}^{\tau_{стр} + \tau_{ос}} \Pi_j(t) \cdot F(t) (1+n)^{\tau_{стр} + \tau_{осв} - \tau_i} \to \min. \qquad (75)$$

Продолжительность подготовительного периода принимается на основе приведенных обоснований либо по продолжительности строительства межхозяйственных головных сооружений, либо, если они не лимитируют, из возможности набора начальных мощностей строительства.

Обычно формирование нового коллектива строителей происходит на базе существующих мощностей и строительных организаций. Так, при создании Главголодностепстроя в его состав в 1956 г. были переданы организации Узводстроя в Мирзачуле и на 58 разъезде, часть коллективов дорожно-строительных станций Минавтодора, а также строительные организации Особоголодностепстроя, полигон железобетонных изделий на ст. Бекабад и для определенных работ — часть коллектива Кайраккумгэсстроя Минэнерго СССР.

В зоне Каракумского канала исходная часть строительной базы сформировалась с переходом сюда расформированного Управления строительства Главного Туркменского канала и т. д. В результате создаются исходные мощности строительства ($K_и$). Зная $K_и$, получаем выражение для определения $K_с$

$$\frac{K_с + K_и}{2} \cdot T_{пп} = K_б + K_{мх}. \qquad (76)$$

Потенциальный темп роста ежегодного объема строительных работ составляет

$$V_{i+1} = 1 + \frac{\Delta V_i}{V_i} = \left(1 + \frac{\Delta П_{pi}}{П_{pi}}\right)\left(1 + \frac{\Delta n_{pi}}{n_{pi}}\right). \qquad (77)$$

В среднем по многолетним данным в период развернутого строительства эта величина будет равна

$$\frac{\Delta П_{pi}}{П_{pi}} = 0{,}06 \div 0{,}07,$$

тогда

$$\frac{V_{i+1}}{V_i} = 1{,}09.$$

Нарастание мощностей строительных организаций в подготовительный период идет более высокими темпами. В среднем по Голодной степи оно составило 20% в год, в Каршинской степи — 15—16%. Детальное нарастание производительности труда является управляемым процессом, как было показано нами в работе (5) совместно с В. Ф. Бойко, зависящим от фондовооруженности и индустриальности работ:

$$П_р = a(bC_б + cФ)\,K^x, \qquad (78)$$

где $C_б$ — количество сборных конструкций на 1 млн. руб. в м³;

$Ф$ — фондовооруженность, руб. человек;

K — ритмичность;

a, $в$, c, x — коэффициенты.

Определив необходимую и возможную поставку техники ($Ф$) на строительство с учетом индустриальности труда и его роста $\frac{П_{pi}}{П_{pi}+1}$, можно установить потребное количество людей, которое ежегодно должно привлекаться на строительство для обеспечения его объема. Размещение людей на строительстве в подготовительный период может осуществляться путем организации временного жилья за счет поставок комплектных вагон-городков на 400 мест каждый или строительства щитовых домов.

В качестве увеличения объема работ, выполняемого в подготовительный период, целесообразно планировать рост индустриальности труда за счет поставки изделий из других строительных баз Минводхоза СССР или даже других министерств. Так, при формировании Каршинского строительства из уже созданных баз Голодностепстроя Главсредазирсовхозстрой осуществлял поставки железобетона, силикальцита

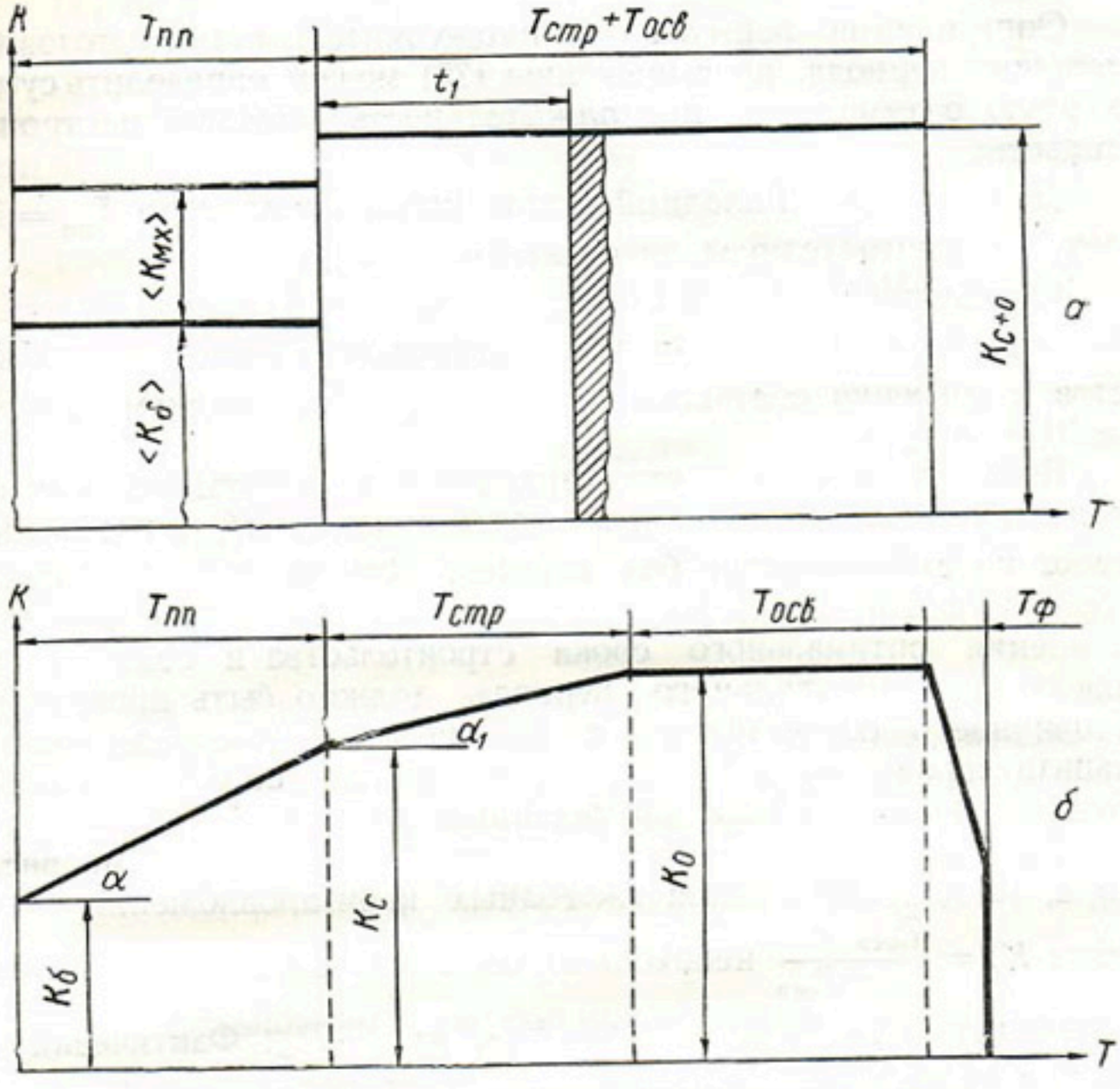

Рис. 29. Расчетная схема оптимизации сроков строительства и освоения.

и других изделий, что резко повышало производительность труда и объем выполненных работ. При этом, пользуясь предложенной нами формулой, очень легко получить пределы экономической целесообразности возможного удорожания строительства.

В случае, если детальные данные по планированию механизмов отсутствуют, можно принять ориентировочно $tg\alpha_1 = 0{,}15 - 0{,}2$ (рис. 29б). Тогда, подставляя в (76) выражение

$$K_с = K_и(1 + \mathrm{tg}\alpha_1 \cdot T_{пп}),$$

получим

$$T_{пп} = \frac{-1 + \sqrt{1 + 2\frac{\mathrm{tg}\alpha_1}{Ku}(K_б + K_{мх})}}{\mathrm{tg}\alpha_1}. \qquad (79)$$

Определив по формуле (79) продолжительность подготовительного периода, по выражению (75) можем определить суммарную оптимальную продолжительность освоения и строительства.

Для условий Голодной степи нами определено $T_{пп} = 5$ лет, что соответствует действительности.

Определив $T_{пп}$, строим оптимизационную функцию. Результаты расчета показывают, что оптимальный срок строительства и освоения составляет 18 лет при фактическом сроке $\approx 21-23$ года.

Выше мы говорили, что фактически и работы по строительству межхозяйственных коммуникаций ($K_{мх}$) и объемы работ по строительству баз должны быть выполнены в подготовительный период не полностью. Поэтому после установления оптимального срока строительства и освоения, а также подготовительного периода должно быть проведено уточнение в соответствии с фактическим распределением капиталовложений в течение строительства, освоения и подготовительного периода, приведенным на рис. 29б.

Если бы строительство шло так, как показано на рис. 29 а, то для выполнения ежегодных капиталовложений объемом $K_0^1 = \frac{\overline{C}_{осн} \cdot F}{T_{стр} + T_{осв}}$ необходимо было бы выполнить объем капвложений по базе, равный $K_б \cdot F = K_б^1 \cdot T_{пп}$. Фактически в период развернутого строительства идет постоянное нарастание объема строительства. До конца периода развернутого строительства поддерживается рост в 9%, затем замораживается в период развернутого освоения и резко сокращается в период завершения формирования комплекса. Продолжительность последнего периода примем два года, объем работ — уменьшающимся ориентировочно до 50%.

Исходя из этого, происходит некоторое перемещение объектов из одного периода в другой — в подготовительный период выполняется только пусковой комплекс межхозяйственных и магистральных коммуникаций $K_{мх}$, определенный проектом, а остальная часть переходит в период развернутого строительства и освоения. Также в подготовительный период нет необходимости выполнять и весь объем базы. Теперь после завершения подготовительного периода должен быть выполнен общий объем капиталовложений, равный:

$$\sum_{T_{пп}}^{T_{стр}+T_{ос}} K(t) = \overline{C}_{осн} \cdot F(K_{мх} - K_{мх1}) + K_{бп}.$$

Из общей динамики капиталовложений в Голодную и Каршинскую степи установлено, что два последних члена в выражении в целом в период основных работ составляют от 3 до 7 % капиталовложений. Поэтому для облегчения расчетов с достаточной степенью точности можем принять, что это выражение равно $1{,}05\ C_{\text{осн}} \cdot F$.

Рассмотрим теперь многоугольник капиталовложений в периоды II, III, IV. Здесь мы можем записать следующие уравнения:

$$K_{\text{о}} = K_{\text{с}}(1 + T_{\text{рс}} \cdot \text{tg}\alpha),$$

$$T_{\text{рс}} + T_{\text{о}} = T^*,$$

$$\frac{K_{\text{с}} + K_{\text{о}}}{2} T_{\text{рс}} = 1{,}05 C_{\text{осн}} \cdot F,$$

$$K_{\text{с}} = K_{\text{и}}(1 + \text{tg}\alpha,\ T_{\text{пп}}). \qquad (80)$$

Решая указанные выражения, мы получаем возможность уточнить величины $K_{\text{о}}$; $K_{\text{с}}$; $T_{\text{рс}}$; $T_{\text{о}}$; а по ним определить повторно объемы капиталовложений в базы к началу периода развернутого строительства:

$$K_{\delta'} = \overline{K}_{\delta} \cdot K_{\text{с}} \frac{T_{\text{рс}} + T_{\text{о}}}{C_{\text{ос}}}. \qquad (81)$$

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ СТРОИТЕЛЬСТВА МЕЖХОЗЯЙСТВЕННЫХ КОММУНИКАЦИЙ

Объекты комплексного водохозяйственного строительства могут быть подразделены на межхозяйственные и внутрихозяйственные. Эффективность внутрихозяйственного строительства объектов совхозов в увязке с освоением и рассматривается отдельно. Объем и сроки строительства межхозяйственных объектов производственного назначения сельского хозяйства определяют в той или иной степени эффективность капиталовложений.

К межхозяйственным производственным объектам относятся магистральные и межхозяйственные каналы, межхозяйственные водосборные коллекторы, линии электропередач, водоводы, межхозяйственные дороги, подстанции, сооружения и т. д.

Зачастую, в угоду местническим интересам, освоение того или иного массива вновь орошаемых земель начинается и развивается бессистемно ускоренными темпами, что приводит к необходимости подвода межхозяйственных коммуникаций к расположенным в разных концах массива хозяйст-

вам. Это распыляет усилия, средства, ресурсы, приводит к недоиспользованию мощностей межхозяйственных объектов в течение длительного времени, наконец, к повышенным эксплуатационным затратам на эти объекты и к общему снижению эффективности капиталовложений.

Характерным примером в этом отношении являются земли новой зоны Голодной степи, где освоение началось с середины массива (совхозы №4, 5, 6), с северо-западной оконечности (совхоз № 20) и развивалось сразу в направлении трех основных каналов ЮГК, левого и правого отводов Центральной ветки. Это привело к необходимости строительства сразу всех магистральных каналов, к затяжке их облицовки и увеличенным потерям воды, к необходимости параллельно развивать строительство нескольких веток магистральных коллекторов—систем ЦК-6, ЦК-7, ЦК-15, Акбулака, что значительно затруднило ход строительства и заморозило большие капиталовложения. В последующем такую систему объяснили стремлением освоить в первую очередь наиболее плодородные земли, но фактически дело тут было не в этом, ибо основная причина крылась в отсутствии продуманной генеральной схемы освоения.

Анализы фактического хода строительства и ввода межхозяйственных коммуникаций в Голодной степи показывает, что замораживание капиталовложений на дороги, каналы и коллекторы длительное время оставалось значительным в связи с бессистемностью направления освоения. Более того, расходовалось большое количество воды бесполезно, так как относительные потери были увеличенными, ибо при неполной загрузке каналов по расходам наполнение ради подпора держалось на уровне проектного. В результате суммарные потери эффекта составили в год от 6 до 11 млн. рублей.

Для того чтобы показать пути оптимизации этой проблемы на примере новой зоны Голодной степи, разберемся, какие аспекты организации мы при этом затрагиваем.

Пусть мы имеем какой-то земельный массив, подлежащий освоению, на котором средний темп ежегодного прироста орошения новых земель определен в $F(t)$ га, а срок строительства всего массива — в T лет, тогда

$$T = T_{\text{пп}} + \frac{F}{F(t)} + T_{\text{ф}}.$$

Исходя из условий неразрывности освоения и ввода земель ежегодная площадь освоения также должна быть равна $F(t)$ га. Пусть орошаемый массив состоит из K ступенчато-расположенных массивов будущего орошения с площадью соответственно $F_1; F_2 \ldots F_{\text{п}}$.

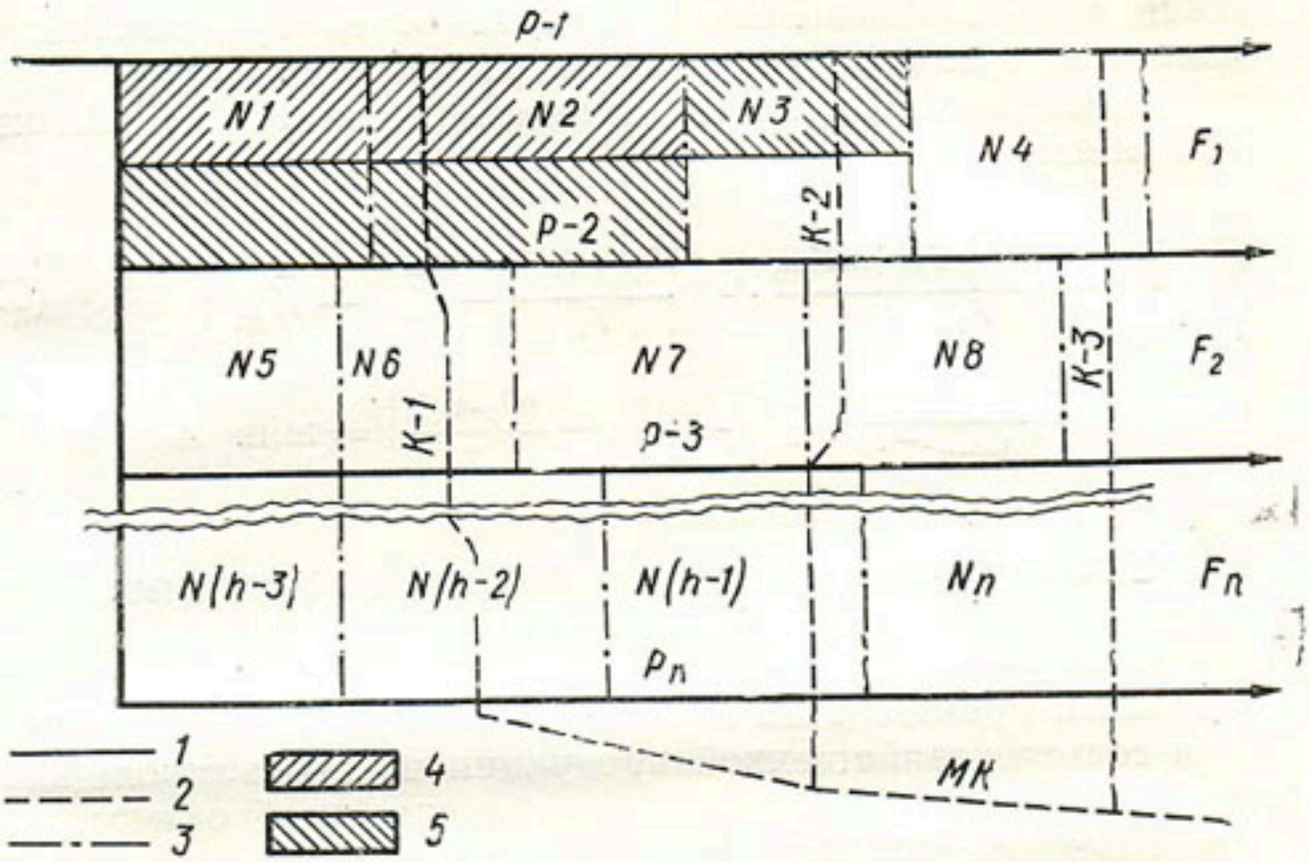

Рис. 30 Схема очередности орошения массива новых земель: F_1, F_2 F_n — площади 1, 2, n-й ступени орошения;

1 — каналы; *2* — коллекторы; *3* — границы хозяйств; *4* — земли 1-го года орошения; *5* — земли 2-го года орошения.

Площадь каждой ступени орошения F_i в два и более раз больше ежегодного темпа ввода земель.

$$F_i \geqslant 2F(t).$$

Могут представиться различные варианты развития орошения:

от головы орошения по какой-то одной ступени к концу канала (вариант № 1);

одновременно от начала двух или нескольких каналов к концу системы (вариант № 2);

размещение по ярусам одновременно ряда каналов (вариант № 3).

Дело в том, что оптимальный вариант системы будет определяться проектными решениями по взаимному расположению магистральной сети питания, сети межхозяйственных коллекторов, качеству земли и ее продуктивности, мелиоративному состоянию земель и т. д.

В каждом случае мы будем иметь площади ежегодного ввода F (t) га эффективностью $Э_x$ (t), определяемой по выражению (1 — 2).

Различные варианты межхозяйственной сети должны сравниваться на основе приведенных затрат с учетом эксплуа-

тации, капиталовложений и ущерба от замораживания, а также потерь воды на фильтрацию из каналов.

Оптимальность варианта оценивается на основе анализа выражения:

$$\sum_{o}^{т}\left[\frac{E_{ор}+nK_{ор}+E_{др}+nK_{др}}{F_i}+\left(\frac{K_{ор}+K_{др}}{F_i}-\bar{K}_{ор}-\bar{K}_{др}\right)\right] \qquad (82)$$

$$\frac{1}{1+n^{т-t}}+\bar{Ц}_{в}\left[\frac{O_р\cdot\eta_с}{F_i}-\frac{[O_р\cdot\eta_с]}{F}\right]=\min.$$

СТРОИТЕЛЬСТВО И ОСВОЕНИЕ ВНУТРИХОЗЯЙСТВЕННЫХ ОБЪЕКТОВ

Основой производства хлопка-сырца и других важнейших видов сельскохозяйственной продукции во вновь строящихся хозяйствах является создание базы в виде необходимого набора объектов, обеспечивающих возможность выращивания и производства сельхозкультур в условиях орошения. Эти объекты могут быть объединены в четыре группы:

ирригационного назначения: внутрихозяйственные каналы, сооружения, участковые распределители, предназначенные для подачи воды на поля и обеспечивающие возможность ее использования;

мелиоративного назначения: коллекторы, дрены, скважины вертикального дренажа, наблюдательная сеть для обеспечения необходимых условий активного соле- и водообмена в зоне аэрации, направленного на повышение естественного плодородия почвогрунтов;

производственного назначения: дороги, мастерские, бригадные станы, склады, фермы КРС, производственно-хозяйственные центры агроучастков, нефтебазы, которые обеспечивают основную производственную деятельность хозяйств;

непроизводственного назначения: жилые поселки, культурно-бытовые и коммунальные объекты для создания необходимых условий жизни и закрепления контингента освоителей.

Сроки строительства зависят от мощностей строительных организаций, выполняющих работы, от необходимости соблюдения определенной технологической последовательности и от возможных сроков освоения.

Совхоз площадью 5— тыс. гектаров нетто, конечно, может быть освоен за один год при благоприятных мелиоративных условиях, не требующих проведения промывок. Однако в связи с некоторыми особенностями первых лет освоения хозяйств практически это невозможно по ряду причин:

в первые годы освоения земледельцы только знакомятся с новыми землями, приемами сельскохозяйственных работ на них, приспосабливаются к местности, познают ее особенности. В связи с этим приходится затрачивать намного больше времени на сельскохозяйственные работы, чем на старооро-шаемых землях;

потребности в воде новоорошаемых земель значительно превышают обычные нормы водопотребления. Поэтому, чтобы обеспечить нормальный полив растений в первый год орошения при 100% использования земель, пришлось бы прокладывать дополнительные магистрали оросительной временной сети как участковой, так и межотделенческой.

Вышесказанное приводит к необходимости установить определенные градации оптимального размера использования земли в первые два года освоения. Данные по хозяйствам новой зоны Голодной степи, находящимся в благоприятных мелиоративных условиях (глубокий уровень грунтовых вод, незасоленный активный профиль почвогрунтов), по определению зависимости урожайности от КЗИ свидетельствуют, что в первый год наибольшая урожайность получена при КЗИ, близком к 0,5, а по мере повышения КЗИ урожайность снижается, достигая минимума при КЗИ, равном 0,9. На второй год такая закономерность наблюдается со смещением оптимума в диапазоне КЗИ — 0,8÷0,9. Исходя из этого, можно рекомендовать в первый год осваивать 50% проектной территории хозяйств, во второй год—80—90%, остальные земли на третий год.

Поэтому в благоприятных условиях в год, предшествующий вводу, следует обеспечить подготовку 50% площадей хозяйства, до весенней посевной кампании — еще 20—25% для того, чтобы обеспечить возможность недосева 20—15% территории, сданной в эксплуатацию, а к концу первого — началу второго года освоения завершить подготовку всех земель и сдачу их под посевы хозяйству.

Двухлетнее освоение земель предопределяет сроки водохозяйственных работ по подготовке земель также в два года. Растягивание сроков строительства будет приводить к снижению эффективности, что при годичном опережении водохозяйственных работ сводит к минимуму омертвление капиталовложений — тогда лаг освоения практически равен нулю. При любом большом опережении искусственно увеличивается лаг освоения и величина замораживания капиталовложений.

Принимая за основу указанные выше сроки освоения земель, можно установить ввод других объектов для успешного их освоения.

793

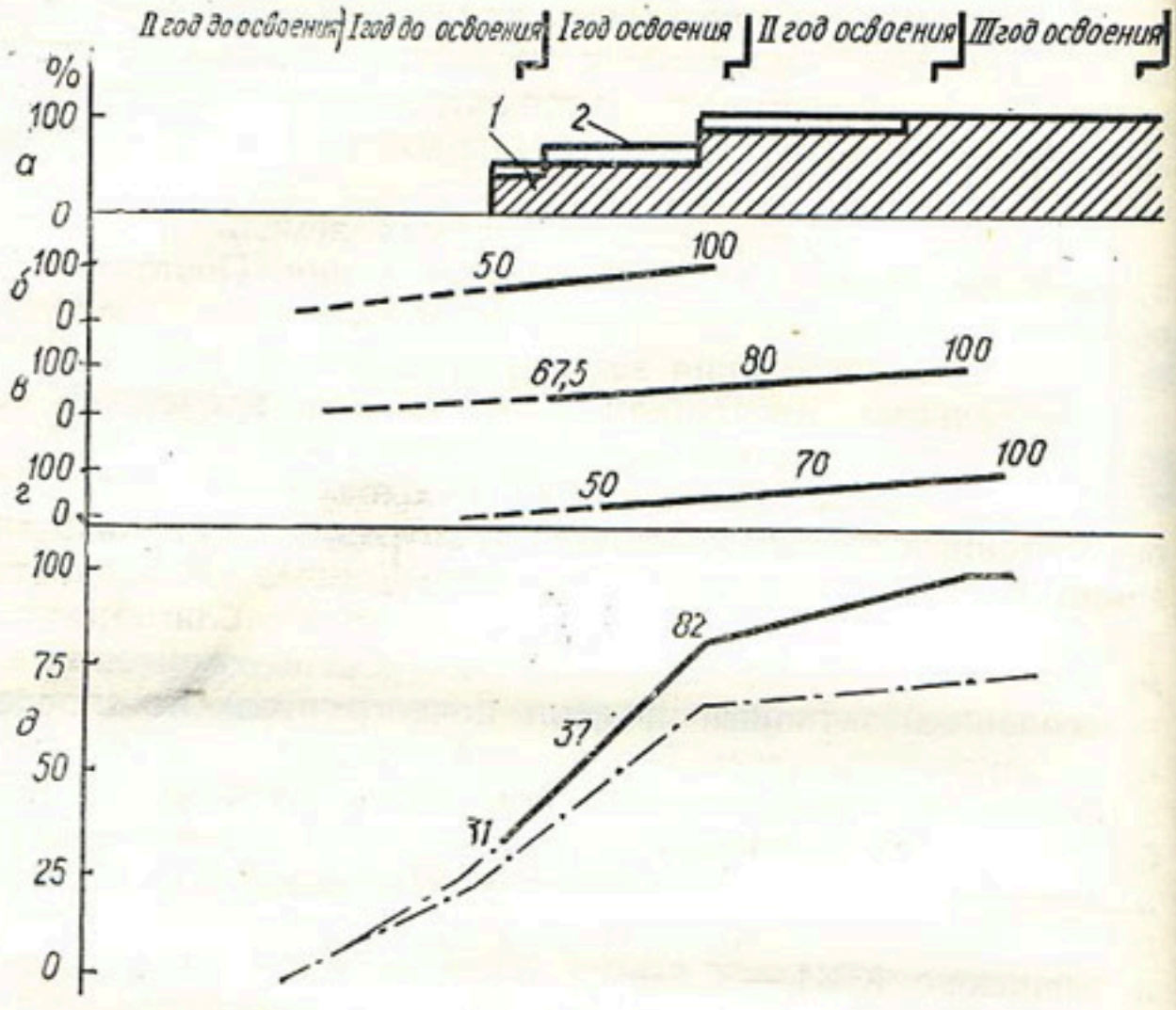

Рис. 31. Определение необходимых капиталовложений в строительство совхоза:

а — ввод земель и сельхозосвоение; *б* — потребность в завершении водохозяйственных объектов; *в* — потребность в жилье; *г* — потребность в производственных объектах; *д* — необходимость общих объемов капиталовложений, в том числе окупаемых.

1 — сельхозобороты и посевы; *2* — сдача земель.

На рис. 31 представлен график оптимального развития сельскохозяйственной деятельности и освоения земель. При построении графиков мы исходили из того, что по отдельным видам работ с точки зрения сельскохозяйственного развития допустимо неполное строительство жилых и производственных объектов.

Действительно, в первый год освоения фактическим орошением будет охвачено 60—65 % земель, из которых поливаться будет 50 %. Необходимо поэтому к началу сельскохозяйственной деятельности обеспечить строительство 60—65 % бригадных станов, 50 % производственно-хозяйственных центров, жилья, исходя из потребности растениеводства — 37—55 % от проектной площади по расчету.

В первые два года освоения нецелесообразно развивать сразу вспомогательные отрасли — животноводство, кормовое хозяйство, так как необходимо все внимание совхоза

акцентировать на освоении земель под хлопок; строительство ферм КРС, поднятие кормового хозяйства и червовыведение возможны на третий год освоения, последний год строительства. К концу второго года освоения должен быть готов и комплекс ремонтно-механических мастерских (РММ) и автохозяйства с тем, чтобы обеспечить проведение полевых видов ремонта после завершения уборочных работ второго года. В первый год освоения и в начале второго года роль РММ с успехом могут выполнять мастерские ПХЦ, поскольку техника в эти годы новая и полного комплекса ремонтов еще не требуется.

При построении графиков необходимо расчленение работ по строительству совхоза на параллельные специализированные потоки, которые технологически увязываются друг с другом, исключая повторение работы и переделки. Так, при водохозяйственной подготовке считаем такой последовательностью потоки «дороги — коллекторы — дренаж — лотки — планировка — промывка земель». При нарушении этой очередности возникают бросовые и повторные работы.

На рис. 31 можно допустить увеличение наклона угла потоков — его интенсивности — до любой разумной величины. Однако разовые затраты на организацию и передислокацию работ будут увеличиваться обратно пропорционально времени строительства. Сюда входят затраты, связанные с организационным периодом работ, на создание бетонных и растворных узлов, временных складов, перебазировку техники на объекты, перевозку дополнительных рабочих, потери при стесненном фронте работ. В то же время чрезмерная затяжка сроков строительства приводит к увеличению других накладных расходов (содержание охраны, складов, временных зданий, сооружений и т. д.), недоиспользованию техники (кранов, бетонных узлов и т. д.).

Поэтому, рассматривая пути сокращения срока строительства, приходим к выводу, что:

обеспечение срока строительства в три года достигается введением двух дополнительных потоков (одного на 3, одного — на 1,5 года), двухсменной работой на объектах жилых и производственных потоков;

срок строительства два года достигается увеличением всех потоков вдвое;

срок строительства один год достигается увеличением всех потоков почти в четыре раза.

Определим при этом удорожающие и удешевляющие факторы строительного производства.

Сравнение возможных вариантов строительства проведено по методу приведенных затрат с учетом себестоимости строительства и эффекта при освоении земель. Для оценки себе-

стоимости строительства воспользуемся работами НИИОСП Госстроя УССР. Из их методики учитывается:

изменение величины условно-постоянной части накладных расходов при соблюдении сроков строительства

$$Э_{ну} = 0{,}005HC\left(1-\frac{T_i}{T_э}\right);$$

экономия в необходимых расходах за счет уменьшения численности рабочих

$$Э_{нт} = 0{,}6(Q_э - Q_i);$$

экономия в накладных расходах за счет экономии зарплаты

$$Э_{нз} = 0{,}15(З_э + З_i)$$

(изменения затрат на механизацию, среднего размера отвлеченных и оборотных средств не учитываются, так как в целом по строительству они не изменяются, а только по отдельным совхозам).

Кроме того, сюда присоединяются:

изменение организационных потерь времени при больших или меньших перебазированиях основных средств

$$\Delta Э_о = \frac{(t_{ор} - t_п)\Phi(n_а + n_{эк})}{T_р};$$

удорожание работ из-за стесненности фронта, из-за излишней концентрации работ

$$\Delta Э_с = K_п f_с;$$

удорожание транспорта рабочей силы ($\Delta Э_т$);

удорожание коммуникаций ($\Delta Э_к$).

Удорожание работ по коммуникации при сроке строительства 1—2 года объясняется тем, что к вводу объектов их не успевают обеспечить коммуникациями, отсюда дополнительные затраты на эксплуатацию без них (надворные туалетные, подвод воды, устройство печек, временные газовые трехконфорочные плиты с встроенными баллонами и т. д.).

Здесь

T_i, Q_i, $З_i$ — продолжительность строительства, трудоемкость работ в человеко-днях, зарплата в сравниваемом варианте;

$T_э$, $Q_э$, $З_э$ — то же в эталонном.

Таким образом, оптимальный срок строительства совхозов, исходя из себестоимости его, определяется по зависимости:

$$N(t) = Э_{ну} + Э_{нм} + Э_{нз} \pm \Delta Э_о + \Delta Э_с + \Delta Э_т + \Delta Э_к = \min. \quad (83)$$

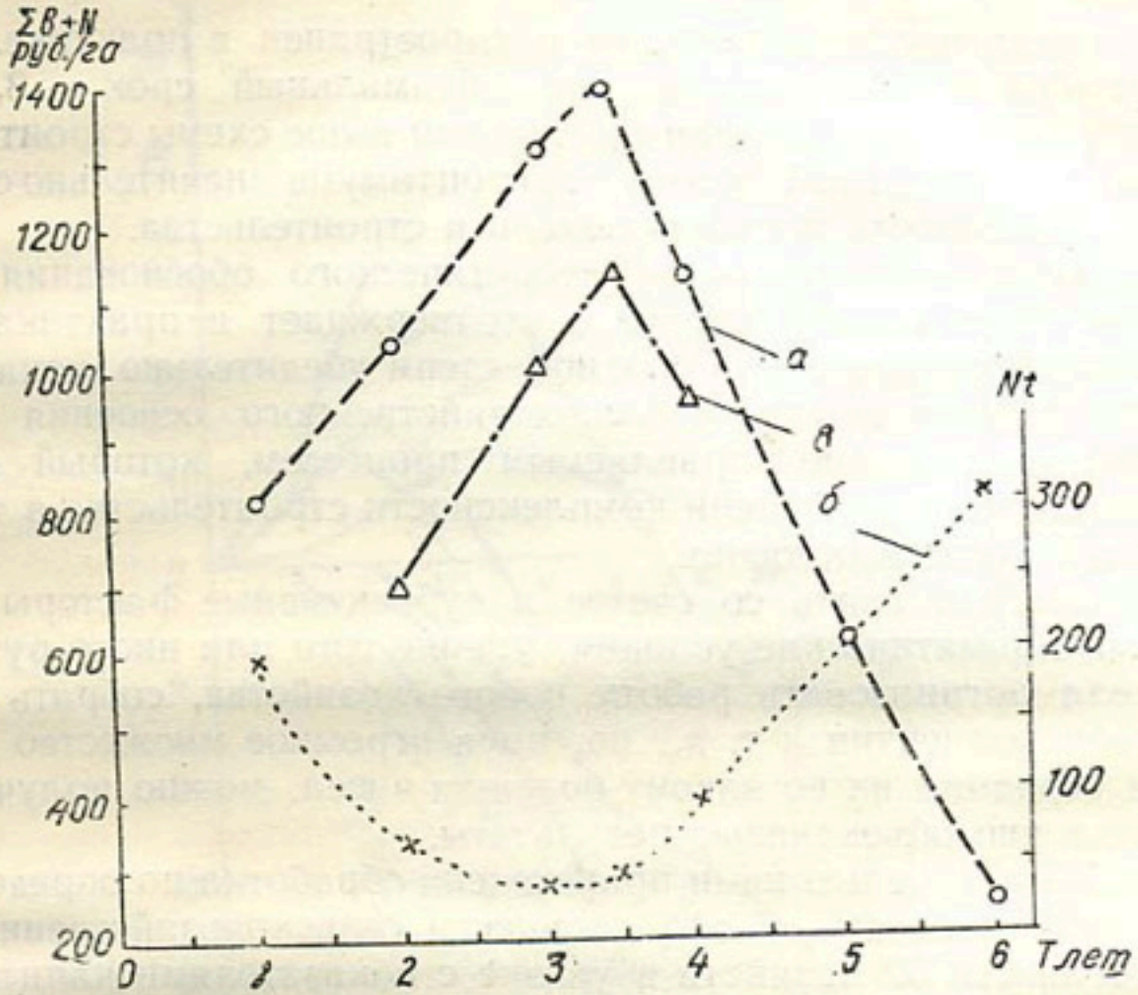

Рис. 32. Оптимизация сроков строительства совхозов:

а — по приведенным затратам; *б* — по удорожанию строительных работ; в — по приведенным затратам с учетом удорожания строительства.

На рис. 32 приведена функция (83) от Т, из которой видно, что по себестоимости строительства оптимальный вариант определен в три года. Тогда полная оптимизация срока строительства и освоения приводится по выражению:

$$\sum_{0}^{\tau} \frac{K_t}{(1+n)_{\tau-tc}} + \sum_{0}^{\tau} \frac{K_t\ n_{эк}}{(1+n)^{\tau-tc}} \pm N(t) - \sum_{0}^{\tau} \frac{\Pi_t}{(1+n)^{\tau-tc}} = = \min. \qquad (84)$$

На основе этого принципа рассмотрен ряд вариантов строительства и освоения в зависимости от сроков строительства:

I, II, III, IV, V — сроки строительства 1, 2, 3, 3 $\frac{1}{2}$ и 4 года;

VI, VII, VIII, IX — строительство отстает от освоения со сроком в 2, 3, 3 $\frac{1}{2}$ и 4 года;

X — строительство растянуто на 6 лет, начинается за год до ввода только водохозяйственное строительство.

Этот вариант наиболее распространен в практике. Сопоставление показывает, что оптимальный срок — 3,5 года при четком соблюдении намеченной выше схемы строительства по варианту IV. Отставание от оптимума значительно снижает эффективность освоения земель и строительства.

Правомерность такого теоретического обоснования факторов строительства совхозов подтверждает и практика. Опыт освоения земель в Голодной степи убедительно показывает, что эффективность сельскохозяйственного освоения земель является вполне управляемым процессом, который зависит в основном от степени комплексности строительства в тот или иной момент освоения.

Нельзя снять со счетов и субъективные факторы, такие как климатические условия, умение того или иного руководителя организовать работу нового хозяйства, собрать вокруг себя коллектив и т. д., но, имея огромное множество данных и осредняя их по закону больших чисел, можно получить достаточно объективные результаты.

С этой целью нами произведена обработка по определенной форме показателей эффективности сельскохозяйственной деятельности 32 хозяйств в увязке с показателями капиталовложений в них. Для примера на рис. 33 показаны данные по совхозам № 11, 18 и 25. Каждое из этих хозяйств представляет определенную стадию в развитии и освоении земель Голодной степи.

Совхоз № 18 является одним из хозяйств, строящихся в первый период освоения, когда сроки строительства растягивались, дренаж отставал от водохозяйственного строительства, но не повлиял, не снизил урожайность. Срок строительства, как видно, растянулся на 11 лет, соответственно 20-центнеровый рубеж совхоз преодолел только на 9-й год после начала строительства. Точно так же медленно нарастал КЗИ.

Совхоз № 25 — хозяйство, в котором степень комплексности была намного выше, но срок строительства растянулся в основном на восемь лет. Здесь КЗИ достиг проектного уровня и преодолел 20-центнеровый рубеж урожайности только на пятый год.

Наконец, совхоз № 11 строился первым уже в соответствии с нашими разработками по новым направлениям и был построен в основном за 4 года. На третий год был достигнут проектный КЗИ и получен 20-центнеровый урожай. Однако в совхозе № 11 подготовительный период продолжался два года, а в совхозе № 25 — один год.

По каждому из этих совхозов построены кривые в виде графиков изменения окупаемых затрат с учетом коэффициента

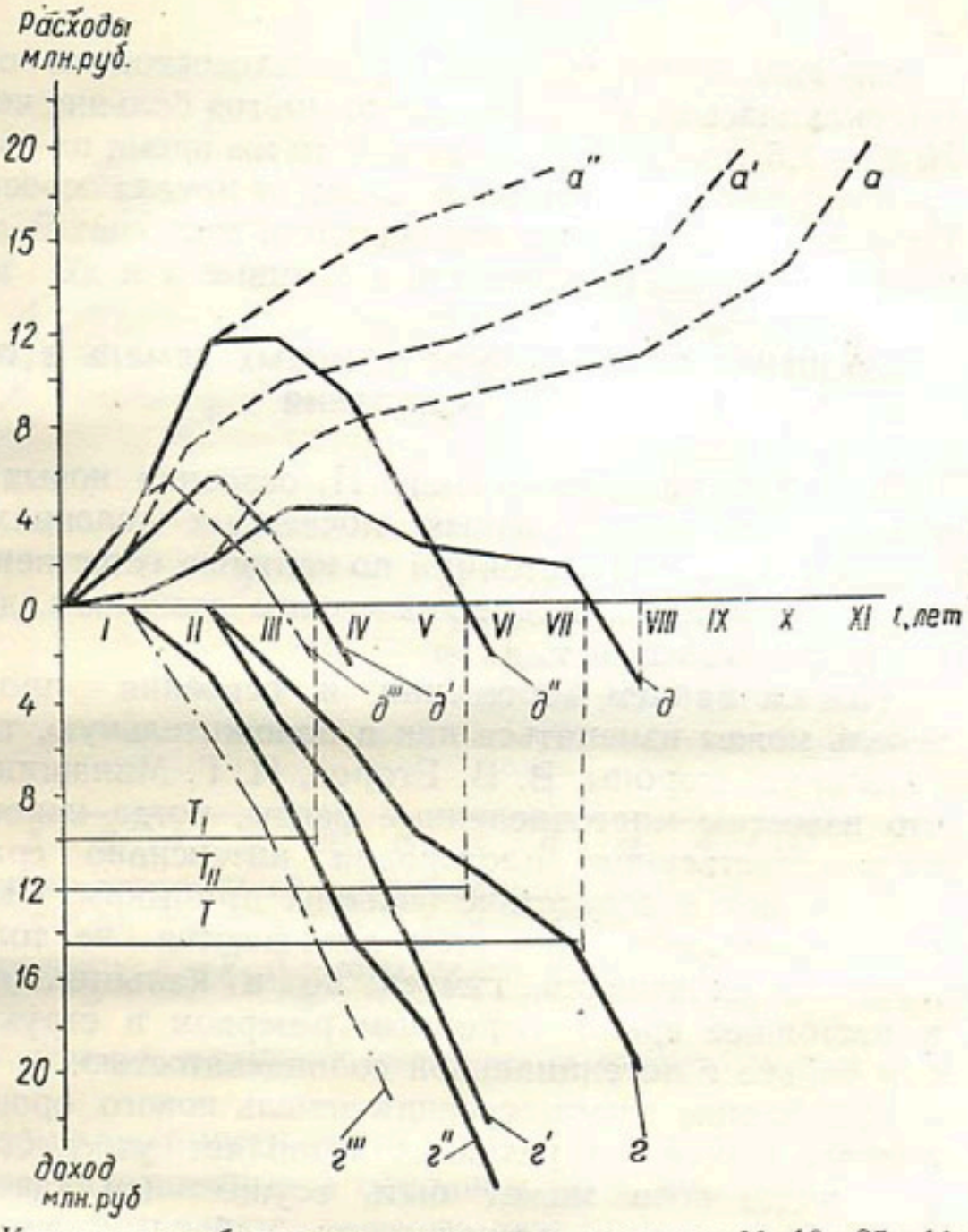

Рис. 33. Кривые рентабельности освоения в совхозах № 18, 25, 11:

а, а', а'' — рост окупаемых капиталовложений в указанных совхозах; д, д', д'', д''' —результирующие в тех же вариантах;, г, г', г'', г'''—доход в совхозах в оптимальных вариантах; Т, T_I T_{II}—соответственно сроки окупаемости.

дисконтирования эксплуатационных затрат на межхозяйственные объекты, приходящиеся на совхоз, и дохода от сельскохозяйственной деятельности.

Как видно из графика, повышение степени комплексности в совхозе № 25 по сравнению с совхозом № 18 приводит, несмотря на более сокращенные сроки строительства и увеличение капиталовложений, к ускорению окупаемости. Наиболее высокие темпы роста доходности определены при близкой к оптимальной организации строительства совхоза № 11. Этот совхоз первым среди совхозов Голодной степи строился по предложенной нами схеме и методам организации. Однако в связи с исключительно интенсивными темпами вложения

и задержкой на год начала сельхозосвоения окупаемость его оказалась от начала освоения на год больше, чем в совхозе № 25—3,5 года вместо 2,5 лет. В то же время по совхозу № 18 срок окупаемости составляет 5 лет от начала освоения земель. При своевременном начале освоения этот совхоз дал бы окупаемость за два года освоения (кривые *г* и д).

ПОВЫШЕНИЕ ПРОДУКТИВНОСТИ НОВЫХ ЗЕМЕЛЬ В ПРОЦЕССЕ ОСВОЕНИЯ

Как было показано в главе II, освоение новых орошаемых земель проходит в разных почвенных условиях, отличающихся в исходном состоянии по наличию естественного плодородия, структуре, водно-физическим свойствам, деятельности микроорганизмов и т. д.

Под влиянием орошения и освоения продуктивность земель может изменяться как в положительную, так и в отрицательную стороны. В. В. Егоров, Н. Г. Минашина отмечают, что известны многочисленные факты, когда накопленные запасы естественного плодородия интенсивно срабатываются при орошении вследствие больших промывных норм на фоне дренированности, 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 солонцеватостью.

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

Относительно показателей плодородия почв при оценке их по бонитету имеются различные мнения. Мы за основу приняли классификацию земель по бонитету плодородия, составленную Средазгипроводхлопком и Узгипроземом, в основу которой положена комплексная оценка почвенных и природных условий по натуральным показателям, дающим возможность получения определенной продуктивности земель, так как оценка по фактическим показателям себестоимости, урожайности, затрат труда создается субъективностью показателей и не характеризует естество природного состояния. В то же время, приняв за основу указанную шкалу бонитета, мы установили для разных уровней плодородия связь между ними: начальной потенциальной для данного уровня урожайности культуры и нарастанием урожайности в процессе освоения. Потенциальная урожайность и ее рост определяются построением огибающей кривой по множеству натурных точек

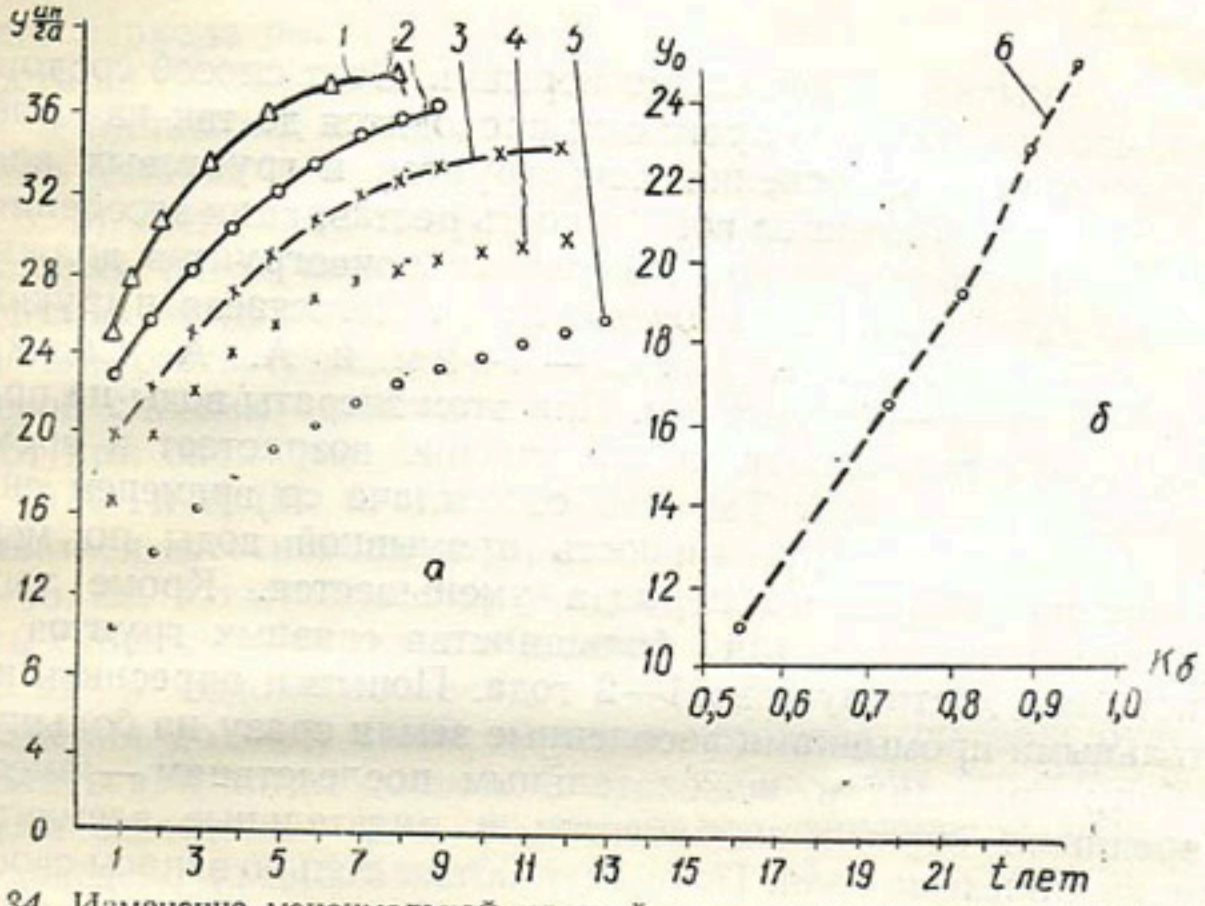

Рис. 34. Изменение максимальной урожайности хлопка-сырца в зависимости от бонитета почв и сроков освоения:

а — зависимость $У = У_0 (1 + \alpha \ln t)$ 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; *6* — кривая $У_0 = f(К_б)$.

б — зависимость начальной урожайности хлопчатника от исходного бонитета почв.

анализа роста урожайности по годам. На рис. 34 представлены такие кривые, построенные в основном по данным Голодной степи, которые позволяют вывести зависимость для хлопчатника

$$Y_0 = 1{,}0 + 3{,}2(K_б - 0{,}5)^{т/га}. \quad (85)$$

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

$$Y_t = Y_0(1 + \alpha \ln t^2), \quad (86)$$

где коэффициент α зависит от осуществленных мероприятий для различных почв, $K_б$ — коэффициент бонитета.

При орошении новых земель могут быть применены различные способы освоения и культурно-технических работ, но только оптимальный дает возможность получить наиболее усиленный темп повышения продуктивности земель.

При освоении всех типов засоленных почв нами обосновывалась в ряде работ необходимость трехстадийного освоения (совместно с А. Р. Рамазановым, Х. И. Якубовым).

Известно, что до последнего времени в работах В. М. Легостаева, Э. С. Варунцяна, В. И. Бобченко пропагандиро-

вались промывки повышенными нормами. Этот способ состоит в том, что капитальные промывки проводятся до так называемого коренного опреснения почвогрунтов и грунтовых вод, при котором исключается возможность реставрации засоления. При таком методе глубина рассоления почвогрунтов должна быть, по данным И. С. Рабочева, В. М. Легостаева и других, больше 2 м, И. П. Айдарова — 1—2 м и А. А. Сидько, В. И. Бобченко — больше 1 м. При этом затраты воды на промывку резко возрастают, соответственно возрастает и время проведения промывок. Так как солеотдача со временем снижается, удельная эффективность промывной воды по мере увеличения промывного периода уменьшается. Кроме того, коренное опреснение для большинства связных грунтов не может быть достигнуто за 1—2 года. Попытки опреснить капитальными промывками засоленные земли сразу на большую глубину приводят к нежелательным последствиям — вместе с вредными солями вымываются и питательные элементы, а также полезные соли. Почвы теряют не только запасы своего плодородия, но и превращаются в обесструктуренное тело, близкое по своим качествам к материнским породам. Не случайно, что в результате капитальных промывок, нормы которых превышают 30—40 тыс. $м^3$/га и более, несмотря на отсутствие вредных солей в почве, добиться высоких урожаев на таких землях длительное время не удается.

Учитывая невозможность подачи больших объемов на промывку из-за дефицита, в САНИИРИ совместно с Главсредазирсовхозстроем и Средазгипроводхлопком разработан способ трехстадийного освоения земель с ускоренной промывкой небольшого верхнего слоя почвогрунтов.

Сущность этого способа состоит в том, что капитальные промывки проводят на глубину так называемого начального рассоления — 0—60 см, в пределах которого развивается основная часть корневой зоны. Допускается несколько повышенный порог токсичности за счет того, что последующее углубление промытого слоя осуществляется на фоне специальных культур-освоителей повышенной солеустойчивости или на фоне основной культуры, у которой солеустойчивость повышена специальными мерами, например внесением химических мелиорантов во время поливов повышенными нормами.

Начальное опреснение почвогрунтов по глубине требует детального обоснования. Учитывая, что после промывки надо обеспечить условия для нормального произрастания культур-освоителей, степень начального опреснения и его глубина определяются исходя из требований этих культур и интенсивности соленакопления от промывки до завершения вегетации.

Если, например, в качестве культуры-освоителя выбран хлопчатник, то необходимо к началу его произрастания для раннего периода роста обеспечить опреснение до порога токсичности на глубину 10 см. Этот порог, как известно, наиболее низок и составляет в условиях хлоридносульфатного засоления, по данным многочисленных исследований (С. Н. Рыжов, В. М. Легостаев, А. М. Нерозин и др.), 0,01 % по Cl. Он повышается после начала цветения до 0,03 %. При внесении химических мелиорантов, таких как МКАФ, эти пороги повышаются соответственно до 0,025; 0,045; 0,06 %. Глубина корневой системы зависит от режима увлажнения. Если поливают при оптимуме увлажнения, то есть при нижней границе 75 % ППВ (Н. С. Петинов), то корневая система будет развиваться в основном в процессе цветения в слое 0—30 и 0—45 см. Отдельные корни, уходящие вглубь, не будут играть существенной роли в водном питании. Наоборот, при перебоях в водопотреблении, снижении нижней границы увлажнения до 60 % ППВ и ниже корневая система будет углубляться и тогда должна быть глубже зона опреснения.

Если освоитель — рис, то начальное опреснение должно быть доведено до 0,03 % по Cl на глубину 20 см. После заливки чеков, вследствие поддержания промывного режима, токсичность не лимитируется. При других культурах-освоителях могут быть приняты соответствующие им пороги токсичности. Чтобы определить глубину и степень опреснения после капитальных промывок, необходимо установить срок конца полива, степень и глубину начального опреснения в зависимости от культуры-освоителя и рассчитать на основе теории солепереноса, как это было описано в главе III, интенсивность соленакопления (в период от конца промывок до начала вегетации).

Можно исходить также из установленных допустимых пределов минерализации почвенных растворов на ранней стадии развития растений. Так, для хлопчатника, как рекомендуют В. А. Ковда, С. Н. Рыжов и другие, предельно допустимые нормы минерализации почвенного раствора в ранней стадии роста — 5—8 г/л, в развитом состоянии (после бутонизации) — 10—12 г/л.

Рекомендуемый метод широко применен в Голодной, Джизакской степях и за два года дал более 2,5 млн. рублей эффекта. Он позволяет:

резко снизить затраты воды на промывку; удешевить стоимость работ и затраты труда; уменьшить степень неоднородности рассоления; предотвратить вымыв питательных веществ из почвы и обесструктуривание их при промывке, а следовательно, и обеспечить более быстрые темпы промывки земель.

Бесспорно, что залогом успешного осуществления такого метода является устойчивая работа дренажа за весь период освоения.

ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ СОЗДАНИЯ ИРРИГАЦИОННЫХ КОМПЛЕКСОВ И ОСВОЕНИЯ КРУПНЫХ МАССИВОВ НОВОГО ОРОШЕНИЯ

Орошение новых земель, особенно в крупных масштабах, оказывает огромное влияние на всю экономику и социальное развитие регионов, где оно осуществляется. Поэтому влияние орошения и его эффект проявляются в разрезе ряда основных направлений:

а) сельскохозяйственного развития — прямой эффект: увеличение производства продукции растениеводства; развитие животноводства; развитие семеноводства, шелководства и других сопутствующих отраслей;

б) промышленного развития — косвенный эффект: переработка сельскохозяйственной продукции; создание бытовых, снабженческих и посреднических служб; развитие транспорта; организация ремонтных центров и изготовления инвентаря; развитие пищевой и консервной промышленности, холодильников и т. д.

в) строительства — прямой эффект: формирование строительных организаций и их баз; создание строительной индустрии; развитие промышленности строительных материалов; устройство транспортных магистралей;

г) прочих составляющих водохозяйственного комплекса— сопряженный эффект: гидроэнергетика; муниципальное, коммунальное и производственное водоснабжение; рыбоводство; реакреация и туризм;

д) социально-экономического развития — социальный эффект: улучшение условий жизни и быта населения; повышение занятости трудоспособного населения в строительстве, сельском хозяйстве и совокупных отраслях; улучшение трудового баланса прилегающих территорий; повышение квалификации трудового населения; увеличение производства продуктов потребления, в первую очередь продуктов питания; улучшение здравоохранения; развитие образования и повышение образовательного уровня;

е) экологического значения — производный эффект: влияние орошения на окружающую среду.

В отечественной экономической науке давно сформировался взгляд, нашедший отображение в «Типовой методике определения эффективности капиталовложений» (Т. С. Хачатуров), по которому абсолютная эффективность измеряется отношением национального дохода к основным производствен-

ным фондам или приростом национального дохода к капиталовложениям (45). Однако определение национального дохода возможно только до уровня республик. Так как эффективность ирригационных комплексов обеспечивает региональный уровень, здесь невозможно получить абсолютную величину национального дохода. Поэтому Т. С. Хачатуров рекомендует пользоваться понятием эффективности общественного производства, определяемой как отношение чистой продукции, равной сумме заработной платы (V) и прибавочного продукта (m), к величине конечного продукта ($P = V + m + a$) и нормативной эффективности фондов

$$Э = \frac{V+M}{P+n\Phi}. \tag{87}$$

Далее он переходит к оценке эффективности капиталовложений как

$$Э = \frac{V+M}{K}.$$

В. М. Рябцев (42), обобщая исследования М. А. Здоровой, М. В. Бахраха, Н. И. Перелетиной и других, показывает, что при анализе эффективности общественного производства в отдельных регионах и зонах необходимо к величине чистой продукции добавлять долю налога с оборота. Учитывая, что в процессе создания ирригационных комплексов участвуют несколько отраслей (промышленность строительных материалов, строительство, сельское хозяйство, водное хозяйство, транспорт и т. д.), а также весь процесс строительства длится от 4—5 до 20 и более лет, в течение которых идет строительство и эксплуатация, а также создание прибылей, целесообразно оценку прямого эффекта комплекса (*а*, *б*) вести не по отношению чистой продукции к капиталовложениям, а по сумме «остаточных затрат», приведенных к началу работ, за весь период строительства и освоения.

Определение абсолютного эффекта за весь период освоения совпадает с рекомендациями В. П. Красовского, поддержанными Т. С. Хачатуровым об определении интегрального эффекта при строительстве территориально-производственных комплексов.

Метод «остаточных затрат» (в зарубежной практике соответствует методу «net present value») был впервые использован Ф. Ф. Губиным (13) применительно к гидротехническому строительству и величина B определена им как

$$B = \sum_{0}^{T} \frac{K_i(t)+E_i(t)-m(t)}{(1+n)T}. \tag{88}$$

Вопрос о применении коэффициента дисконтирования к абсолютной эффективности оспаривается рядом экономистов. В то же время, если государство недополучает в течение ряда лет прибыль от стройки, то это замораживание или недополучение отдачи от затраченных основных средств обязательно приносит ему ущерб или, наоборот, увеличенную отдачу тем большую, чем больше сроки омертвления фондов.

Такая трактовка соответствует и приросту отраслевого продукта Т. С. Хачатурова по формуле (87) — чем раньше фактическая абсолютная, а не только относительная, прибыль от строительства и освоения поступает в доход государства, тем более многократно государство сможет направить ее на расширенное воспроизводство. Таким образом, ускорение отдачи капиталовложения и учет его во времени является абсолютным эффектом государства. Преимущества метода остаточных стоимостей проявляются и в том, что эффективность может быть определена не вообще в целом объекта по какому-либо расчетному году, а проанализирована в динамике ее изменения в зависимости от интенсивности капиталовложений, их распределения по отраслям, годам, по направлениям и даже по площадям массива или его отдельным участкам в зависимости от их естественного плодородия и способа освоения. Этот метод, будучи запрограммированным, дает возможность делать неограниченное количество сравнений по планам капиталовложений, по вариантам последовательного их инвестирования и продолжительности, а также прослеживать не только изменение эффективности в процессе строительства, но и во весь расчетный срок службы объектов — период освоения и длительной эксплуатации.

С учетом участия ряда отраслей, методики Т. С. Хачатурова остаточные затраты получат следующее выражение, принимая нормативный лаг затрат одного года:

$$B = \sum_{i=1}^{N} \sum_{t=1}^{\tau} \frac{K_i(t) + E_i(t) - [m_i(t) + \bar{m}_i(t) + V_i(t)]}{(1+n)^{\tau-1}}, \qquad (89)$$

где m_i (t) — доля налога с оборота в год t;

Определение косвенного эффекта, выражающееся в доле ирригационных комплексов в связанных отраслях, до настоящего времени не производилось. Здесь имеется две стороны — необходимость вложений в сопряженные отрасли и учет прибылей от них. Т. С. Хачатуров обосновывает необходимость учета сопряженных капиталовложений до второй ступени в развитие тех отраслей, от которых зависит ирригация, если нет резервных мощностей в этих отраслях. Величина дополнительных капиталовложений в эти отрасли

ΔK_i должна быть прибавлена к величине капиталовложений в основные отрасли. В то же время доля орошаемого земледелия в прибылях этих связанных отраслей может быть определена, как было показано нами в работе (20), на основе расчета матричных коэффициентов взаимного участия отраслей в прибылях друг друга на основе межотраслевых балансов для тех или иных зон.

Величина косвенного эффекта определяется по отношению к основной прибыли орошаемого земледелия M_i (t) в виде дополнительного коэффициента $(1 + K_к)$;

$$K_к = \frac{\sum_{o}^{L} U_{jc} \cdot П_j - U_{cj} П_c}{П_c}, \qquad (90)$$

где U_{jc} — матричный коэффициент участия орошаемого земледелия С в сопряженных отраслях j от 0 до L;

U_{cj} — суммарный матричный коэффициент участия сопряженных отраслей j в орошаемом земледелии С (отношение затрат продукции поставленных отраслями j орошаемому земледелию);

$П_j$ — прибыль каждой отрасли в регионе;

$П_c$ — прибыль орошаемого земледелия в регионе.

Величина сопряженного эффекта учитывается аналогично косвенному эффекту с введением коэффициента участия в прибылях и дополнительных капиталовложений ΔK_c.

Наиболее сложным в стоимостном учете является определение социального эффекта развития орошения. 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. Ф. Кульхави (Чехословакия) предлагает эту часть эффекта считать сверх экономической. В то же время имеется социальный эффект, который может быть учтен экономическими методами. Сюда относятся, в первую очередь, повышение занятости населения и средних доходов трудящихся.

Хотя в отечественной экономической литературе вопросу социальной эффективности капиталовложений уделяется большое внимание, разработки эти носят в основном описательный и социологический характер, не позволяющий оценить социальный эффект тех или иных крупных народнохозяйственных мероприятий в денежном выражении или оценивающий

этот эффект с помощью коэффициента значимости, определяемого умозрительно.

Нами сделана попытка учесть социальный эффект в виде изменения национального дохода в результате осуществления водохозяйственных работ.

Национальный доход, как известно, делится на часть, идущую на накопление, и часть, идущую на потребление. Поскольку в расчетах народнохозяйственного эффекта (прямая прибыль + 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, по данным статистического управления на 1965—1975 гг., в среднем составляет 68,5 %.

Суть предлагаемой нами методики определения социального эффекта сводится к следующему. Социальный эффект определяется по росту (или снижению) темпов производительности труда и в выработке от достигнутого уровня. Последний может быть значительно ниже, чем возможный по техническому уровню развития сельскохозяйственного производства. Так, для хлопково-люцерновых севооборотов при высоком уровне урожайности оптимальной в настоящее время является нагрузка 6 га на человека при потенциально возможной 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 данное время задачи достижения указанных уровней, а считая, что установившийся уровень доходов и выработки является дифференцированной базой для каждой зоны, социальный эффект (положительный или отрицательный) будем определять в зависимости от изменения сложившегося уровня.

Превалирующей частью доли потребления в целом, а также личного является заработная плата со всеми надбавками и установленными выплатами. В то же время на основе проведенного анализа показателей в среднем по всем областям республики между производительностью труда и общей заработной платой имеется зависимость, близкая к прямолинейной (табл. 17).

Отсюда можно определить коэффициент изменения удельного национального дохода m на человека:

$$m = \frac{П_{рп}}{П_{рп-1}}.$$

Темп роста национального дохода в целом регионе определяется в зависимости от увеличения занятости, которая при сохранении нагрузки и производительности труда ста-

Таблица 17

Изменение величины национального дохода по пятилеткам

Показатель	Годы		
	1965	1970	1975
Национальный доход, всего, млн. руб.	6023	9440	12 398
В т. ч. в сельском хозяйстве «	2062	3202	4 050
В т. ч. доля потребления «	4160	6412	8 512
Личное потребление, млн. руб.	3790,8	5830	7 336
Зарплата со всеми выплатами и надбавками, млн. руб.	3486,3	5034	7 336
Занято работников в сельскохозяйственном производстве, тыс. чел.	1333,0	1441,6	1 623
Доля потребления, %	69,07	67,9	68,6
Национальный доход на одного работника в сельском хозяйстве, руб./чел.	1547	2211	2 495
Доля зарплаты, %			
в личном потреблении	91,7	86,3	95,9
в общем потреблении	83,8	78,5	86,2

бильно будет определяться как функция увеличения площадей орошения:

$$\Delta Э_c = \overline{НД} l_n - \overline{НД}_{n-1} l_{n-1} = \overline{НД}_{n-1} \cdot l_{n-1} \left(\frac{П_{рп}}{П_{рп-1}} \cdot \frac{F_n}{F_{n-1}} - 1 \right). \quad (91)$$

По формуле (91) необходимо учитывать как зону развития орошения (если не принимается во внимание V в формуле (89)), так и зону, откуда миграция населения происходит, так как если отток населения довольно значительный на новые земли, это может существенно повлиять на занятость населения того региона, откуда идет миграция.

Но оценивая социальный фактор с точки зрения принимаемого эффекта, неправильно не учитывать и его на стороне затрат.

Многие исследователи отмечают, что основным фактором закрепления населения в зонах миграционного притока является обеспеченность жильем на более высоком уровне, чем в зоне оттока. Нами тоже отмечался этот фактор, как один из важнейших стимулов привлечения людей на освоение Голодной степи. Однако это преимущество обеспечивается более высоким уровнем затрат на это жилье по отношению к нормативам. Так, по сравнению со среднереспубликанским уровнем, в сельской местности жилье в системе Главсредазирсовхозстроя за счет повышенного уровня капиталоемкости благоустройства дороже на 30—42 руб/м². Это удорожание непроизводственного строительства, видимо, должно учитывать-

ся на стороне капиталовложений как $\Delta K_н$ за весь период строительства.

По предложенной методике социального эффекта нами произведен прогноз эффективности орошаемого земледелия в Средней Азии при различных уровнях проведения реконструкции и развития орошения, где величина социального эффекта оказалась соизмеримой с величиной прямого экономического эффекта.

Предложенная методика учета социального эффекта важна при выборе земель под новые массивы, когда имеется большая возможность выбора объектов. Для густонаселенных районов засушливой зоны с высокими естественными темпами роста населения без развития орошения или при малых темпах роста его возникает отрицательный социально-экономический эффект от уменьшения занятости сельского населения. Он может быть ликвидирован только за счет соответствующего развития площади орошения или внедрения трудоемких орошаемых культур с высокой доходностью (табак, виноград, садовые культуры и т. д.).

Экологический эффект развития орошения может быть проявлен в воздействии на природные условия. При освоении новых массивов в условиях социалистического государства мы должны исходить из указаний К. Маркса, что «коллективный человек, ассоциированные производители рационально регулируют свой обмен веществ с природой, ставит его под свой общественный контроль, вместо того, чтобы он господствовал над ними, как слепая сила; совмещают его с наименьшей затратой сил при условиях, наиболее достойной их человеческой природы»*.

Влияние оросительных мероприятий на окружающую среду проявляется в том взаимодействии (положительном или отрицательном) человека и природной обстановки, включая землю и воду, которые имеют место при развитии орошения. Из материалов главы II ясно, что при правильном проектировании и осуществлении освоения влияние на природные условия может быть в основном положительным. Для этого при составлении проектов орошения должны быть выявлены все связи оросительной системы с экологической обстановкой на основе системного анализа. В зависимости от различных технических решений, которым придается стоимостная оценка, исчисляется ущерб от ухудшения экосистемы, включая прилегающие территории и стоимость его минимизации.

В ряде зарубежных работ предлагается экономическое выражение эквивалентов окружающей среды.

---

* *Маркс К., Энгельс Ф.* Соч., т. 25, ч. 2, с. 387.

Карл Ли (США) указывает, что «...по мнению американских специалистов чистый воздух, чистая вода — это вещи, имеющие стоимость» (55). Развивая эту мысль, можно сказать, что вода высокого качества, так же как чистый воздух и плодородные земли, имеют самую высокую стоимость, а загрязненные и ухудшенные человеком элементы окружающей среды оцениваются меньшей стоимостью, при этом величина уменьшения стоимости определяется теми повышенными расходами, которые следует осуществить, чтобы использовать элементы окружающей среды в нормальном качестве.

Проблема экономической эффективности охраны окружающей среды детально развита у нас в трудах Т. С. Хачатурова, Н. Н. Некрасова, М. Н. Лойтера, а также получила определенную трактовку в работах Г. В. Воропаева. Они исходят из того положения, что взаимоотношения общества и природы заключаются в комплексном использовании обществом для развития производства трех факторов экономического роста: трудовых ресурсов, средств производства и природной среды. Расширяющееся использование природных ресурсов приводит к их истощению и одновременно увеличению отходов и отбросов, поступающих в окружающую среду. На основе этого рациональное использование природных ресурсов, бережное отношение к ним возможно только при использовании экономических рычагов наряду с постоянной общественной и народнохозяйственной оценкой их состояния.

На основе этого оценка природных ресурсов должна базироваться на оценке дифференцированной ренты того же периода, в действующих ценах которого рассчитаны капиталовложения и текущие издержки. Развивая эти мысли, М.Н. Лойтер считает, что цена воды должна состоять из двух составляющих: природного ресурса и суммы всех затрат на водообеспеченность по разным линиям финансирования. Первая часть определяется, исходя из метода замыкающих сооружений, позволяющих установить единовременные и текущие затраты, потребовавшиеся для вовлечения последнего кубометра как в действующих, так и в будущих условиях. Такой же точки зрения придерживается и Г. В. Воропаев.

Исходя из аналогичных положений, мы определили замыкающие капиталовложения как затраты на формирование стока, включающие затраты на регулирование водного ресурса, транспортирование, подачу и содержание бассейновых органов, а оценку воды — как сумму этих затрат с эксплуатационными, приведенными к данному году

$$\overline{Ц}_{в}=\frac{K_{ф}}{\Delta W_{р}}(n_{а}+n_{эм}+n)+\frac{a\Phi_{мх}+E_{мх}}{W_{в.з.}}, \qquad (92)$$

$\Phi_{мх}$ — 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.

В табл. 18 приведен расчет поэтапных оценок воды для бассейна реки Сырдарьи.

Таблица 18

Оценка стоимости водных ресурсов для бассейна реки Сырдарьи

Периоды	Стоимость формирования, руб./м³	Эксплуатационные затраты, включая амортизацию, руб./м³	Приведенные затраты на формирование, руб./м³	Затраты эксплуатационных межхозяйственных органов, руб./м³	Итого, руб./м³
1955—1965	0,08	0,11	0,0206	0,005	0,0256
1966—1975	0,12	0,0166	0,0310	0,011	0,042
1976—1980	0,16	0,0222	0,0415	0,0249	0,664
1981—1990	0,27	0,0374	0,0698	0,0421	0,1119

Однако эта оценка будет не полной, если не учитывать не только отбор воды по количеству из реки, но и последствия этого для нижележащих регионов, а также влияние сброса возвратных вод в русло реки. Действительно, при заборе воды из какой-то реки изменяется ее минерализация, а из бессточных бассейнов (Аральское, Каспийское моря, Балхаш) возникает ряд отрицательных факторов, как-то: ущерб рыбоводству, потери затопляемых пастбищ, омертвления целого ряда капиталовложений, промпредприятий, переселения и т. д. Так, только в низовьях Аральского моря по этой причине государственный ущерб превысил, по нашим данным, 150 млн. рублей в год, который необходимо отнести на увеличение отъема стока за период с 1960 по 1980 г. в 32 км³ в год. Таким образом, в дополнение к стоимости воды по формуле (92) необходимо добавить ущерб от отъема воды в размере 0,00468 руб/м³. Если проанализировать динамику роста стока орошаемых площадей в бассейне и динамику ущерба, то мы можем получить долю новых массивов орошения, скажем Каракумского канала, Голодной степи и т. д., в возмещение этого ущерба. Поэтому в цену воды, потребляемой новыми объектами, надо включать и стоимость ущерба от изъятия стока.

Кроме того, следует учитывать влияние возврата в реку сбросных вод. Если подается вода в ствол реки с содержанием вредных солей и веществ ниже ПДК, то этот сброс увеличивает полезный ресурс и уменьшает ущерб от изъятия стока. При сбросе воды с содержанием вредных веществ и солей выше ПДК увеличивается ее ресурс, но на меньшую величину, так как для ее доведения ниже сброса до ПДК необходимо затрачивать дополнительное количество пресной воды для разбавления или выполнять какие-то инженерные мероприятия по снижению содержания вредных веществ до ПДК. Цену воды в зависимости от содержания вредных веществ можно построить по криволинейной зависимости. Нулевой стоимости соответствует качество воды, равное ПДК; наибольшее значение стоимости воды — при минимальном содержании солей и прочих веществ, отвечающих естественным концентрациям до вмешательства человека: средняя цена воды назначается при содержании минералов, равных средним нормальным концентрациям.

Исходя из этого, пусть средняя стоимость водного ресурса, равная $Ц_в$, соответствует средней минерализации воды $<C>$ в бассейне без возврата, изменяющегося в пределах от C_o (исходной) до $C_{пдк}$. Тогда при сбросе воды в реку с минерализацией $C_в$ и объемом $W_в$ при минерализации воды в стволе сброса C_0' и объеме W_0' мы получаем среднюю минерализацию воды

$$C_o'' = \frac{C_в W_в + C_o' W_o'}{W_o' + W_в}.$$

Если $C_0'' < C_{пдк}$ — увеличивается ресурс воды;

$C_0'' = C_{пдк}$ — увеличение ресурса воды происходит с нулевым эффектом;

$C_0'' > C_{пдк}$ — увеличение ресурса воды происходит с отрицательным эффектом, равным ущербу урожая от засоления и других повреждений. В пределах $C_0'' \geqslant C_{пдк}$ цену воды с любой минерализацией можно определить по количеству воды средней минерализации, которое надо для разбавления возврата до концентрации, соответствующей ПДК. Тогда цена воды любой концентрации в пределах от C_o до $C_{пдк}$ соответствует

$$\overline{Ц}_с = \overline{Ц}_в \cdot \frac{W_р}{W_в} = Ц_в \frac{C_в - C_{пдк}}{C_{пдк} - <C>} \qquad (93)$$

при

$$C_в = C_{пдк};\ \ \overline{Ц}_с = 0;$$
$$C_в = \langle C \rangle;\ \overline{Ц}_с = \overline{Ц}_в.$$

На рис. 35 показано изменение стоимости формирования воды для бассейна Сырдарьи при $C_{пдк} = 1{,}5$ г/л; $\langle C \rangle = 0{,}7$ г/л, и $Ц_в$ на уровне 1981 — 1990 годов — 0,11 руб./м³.

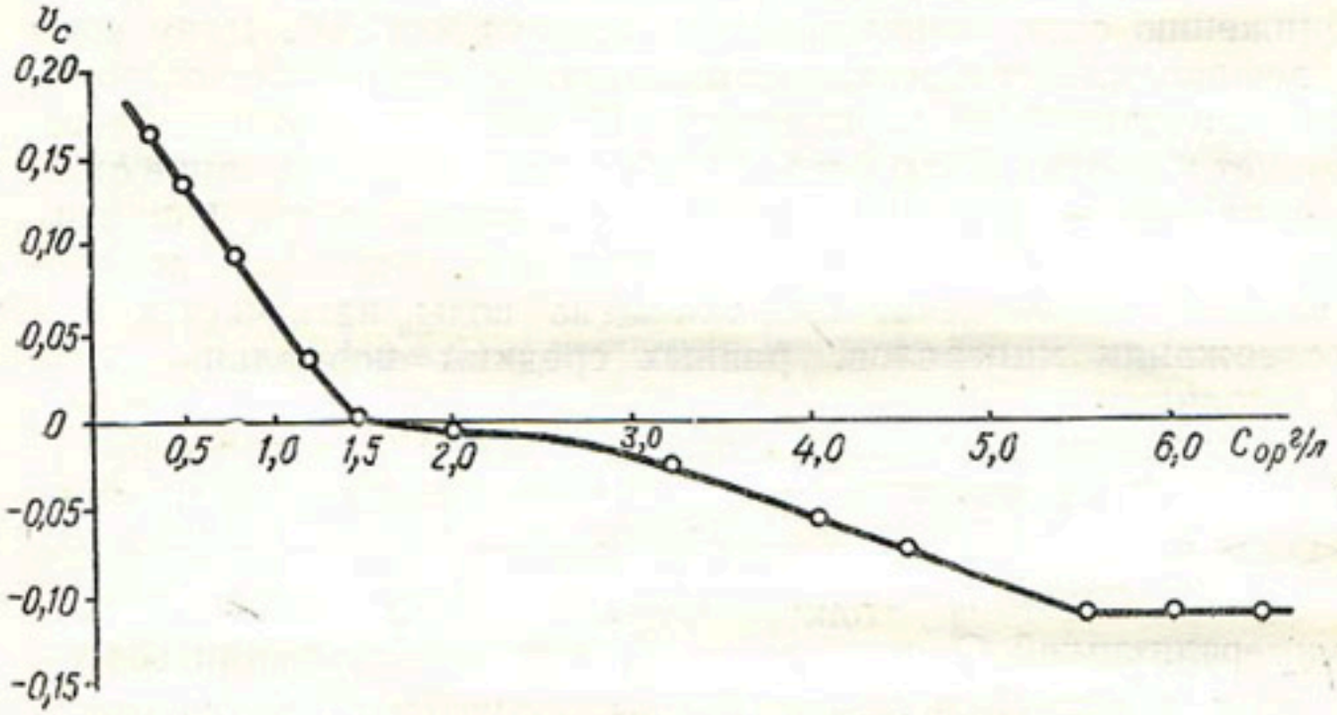

Рис. 35. Кривая изменения цены воды в зависимости от ее минерализации для бассейна Сырдарьи.

При минерализации больше $C_{пдк}$ ущерб от этого увеличения на единицу воды может быть оценен по средним потерям продуктивности земли применительно к ведущей культуре по мере увеличения минерализации воды в бассейне. Используя имеющиеся данные по хлопчатнику, получим отрицательный эффект в виде

$$\overline{Ц}_{(в;с)} = \frac{П}{O_р}\lambda(\underline{C}),$$

где $\lambda(C)$ — снижение урожайности в долях единицы в зависимости от минерализации оросительной воды при длительном орошении. В результате получаем нижнюю часть кривой. Рекомендуемый метод будет способствовать заинтересованности во внутрисистемном использовании минерализованных вод, в уменьшении проектного и фактического загрязнения речных вод, обосновании мероприятий по опреснению и очистке вод от загрязнения и повышенной минерализации.

Следует отметить, что полную стоимость водного фактора можно будет учитывать только после введения платы за воду и увеличения, как это предлагается нами совместно с К. И. Белоцерковским, цен на продукцию в орошаемом земледелии. Пока же этот фактор можно учитывать в порядке сопоставления с эталонным и нынешним уровнем.

Наряду с влиянием орошения на водные ресурсы мы должны оценить его влияние и на земельные ресурсы. В главе IV показано, какое положительное и отрицательное влияние может оказать комплекс мелиоративных работ на продуктивность земель.

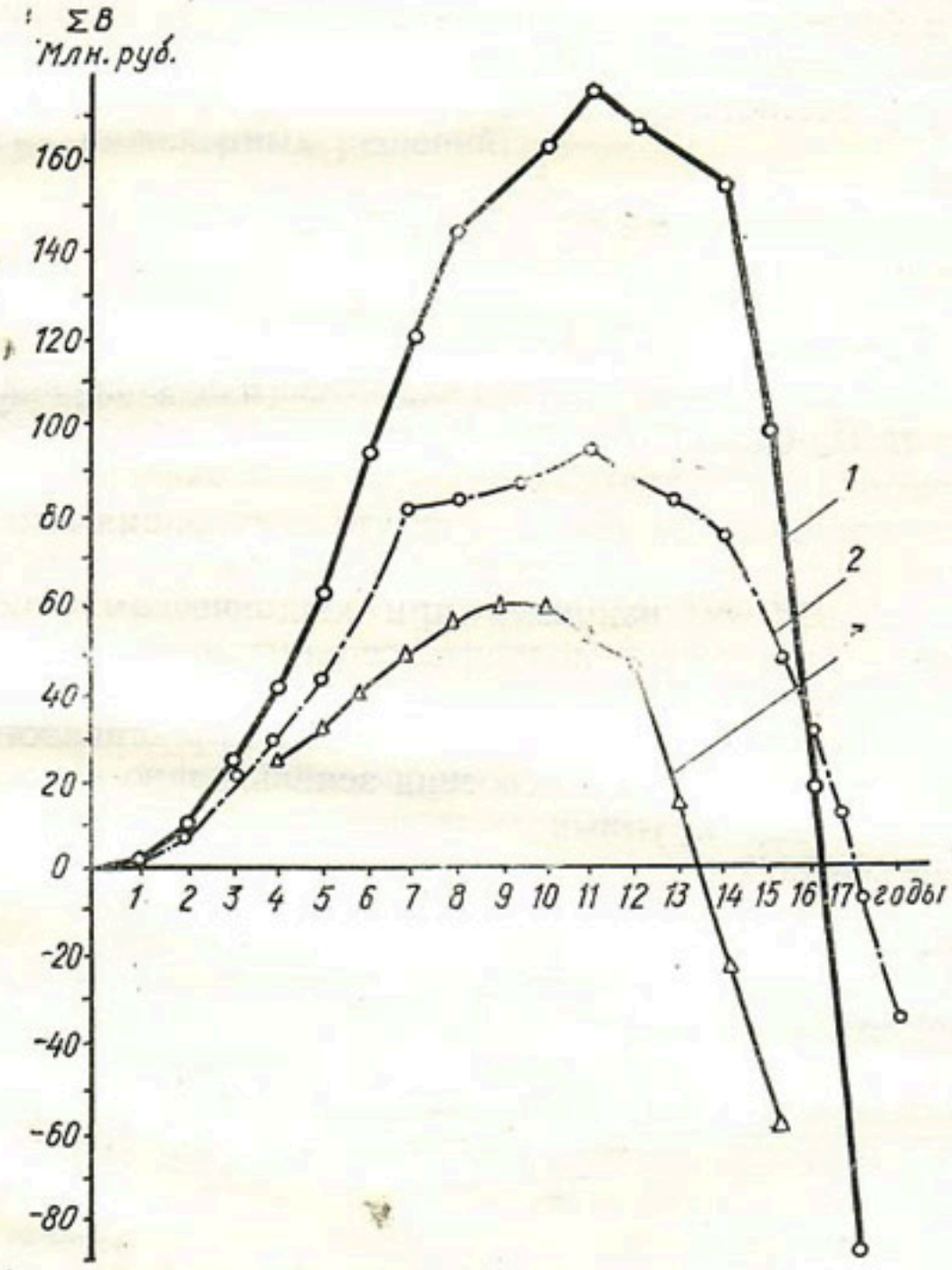

Рис. 36. График остаточной стоимости работ по орошению новой зоны Голодной степи:

1 — прямые остаточные стоимости; *2* — приведенные остаточные стоимости; *3* — приведенные остаточные стоимости по предложению автора.

Нами предложено ввести в оценку эффективности мелиоративных работ, в связи с долговременностью их действия, показатели изменяющегося плодородия земель под действием мелиорации. Осуществив весь необходимый для данных условий комплекс мелиоративных работ, обычно стремятся не только получить расчетный эффект по доходу от сельскохозяйственного производства, но и создать на многие годы высокое потенциальное плодородие земель, отличающееся от исходного. Для этого рассоляют исходно засоленные земли, формируют структуру ранее обесструктурных почв, повышают дренированность и т. д. Иначе говоря, по бонитировке земель мы переводим земли из более низких классов по продуктивности в более высокие по принятой в том или ином регионе (стране) классификации. Тогда к эффективности мелиорации к концу расчетного срока освоения надо добавить:

$$Э_m = \sum_{o}^{к} F_к (П_т - П_o). \qquad (94)$$

Здесь $F_к$ — площади К участков различного типа по бонитету почв, изменяющих свою продуктивность за период освоения T от $П_o$ (исходной) до $П_т$ (конечной) под действием мелиорации.

При этом знак $(\pm)$ показывает, что мелиорация при неправильном планировании и осуществлении может давать и отрицательный эффект, например при хищническом отношении к земле, в стремлении получить сегодняшний эффект, не думая о будущем.

В результате всего вышеизложенного эффективность комплексного строительства и освоения земель, равно как и эффективность любых крупных мелиоративных проектов, должна оцениваться по следующим зависимостям:

$$B = \sum_{o}^{N} \sum_{o}^{т} \frac{K_j(t) + \Delta K_c(t) + \Delta K_i(t) + K_п(t) + E_i(t)}{(1+n)^{t-1}} - [m_i(t)(1 + K_к)(1 + K_c) + \overline{m}_i(t) + V_i(t)] \frac{}{(1+n)} \pm \sum_{o}^{к} F_к(П_т - П_o) \pm \sum_{o}^{т} \Delta Э_c(t) + \sum_{o}^{т} \frac{W_{вз}(t) \cdot \overline{Ц}_в(t; C_{вз}) - W_в(t) \cdot \overline{Ц}_в(t); C_в)}{(1+n)^{t-1}}.$$

Объект окупается при B = 0. (95)

С учетом всех вышеизложенных и приведенных факторов мы рассчитали эффективность комплексного орошения и освоения земель Голодной степи на площади 254 тыс. га (рис. 36). Анализ этих расчетов показывает, что при правильно осуществленном и запрограммированном объекте полный учет всех экономических и случайных факторов приводит к более быстрой окупаемости объектов. Действительно, при обсчете по существующей методике окупаемость Голодной степи составляет 16 лет, по приведенным затратам — 17 лет, при введении поправки по Т. С. Хачатурову — соответственно меньше на 1 год каждый, а при подсчете по предлагаемой методике — 13,5 лет.

Более полный учет всех факторов экономической эффективности комплекса позволяет поэлементно подойти к оценке сроков и участия составляющих комплекса, их объема, антифильтрационных мероприятий, выбора мелиоративного режима и других инженерных решений.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Развитие орошения пустынных земель в аридной и полуаридной зоне вносит большие изменения в природную и экономическую обстановку территории. Наращивающееся по мере ввода новых площадей сельскохозяйственное производство требует резкого и быстрого изменения характера экономических связей, роста производительных сил, увеличения экономического и социального потенциала территории при интенсивном взаимодействии с природной обстановкой.

Необходимое при этом взаимодействие различных отраслей между собой и с внешней средой для своего усиленного развития требует создания определенного вида комплекса, названного нами природно-производственным ирригационным комплексом (ППИК), который увязывает в единой организации и технической структуре планомерное и пропорциональное развитие региона.

Формирование единого природно-производственного ирригационного комплекса строится на основе оптимального сочетания управляемых природных ресурсов и специально созданной производственной и экономической базы с целью получения максимального народнохозяйственного эффекта при минимальном расходе основного ресурса — воды.

На основе анализа производственных составляющих комплекса создана модель его формирования, позволяющая оптимизировать распределение капитальных вложений между участниками комплекса.

Динамизм развития комплекса требует очень строгого соблюдения необходимых производственных пропорций, отклонения от которых вносят значительные нарушения в общую эффективность.

Определенные в работе связи между природными составляющими комплекса требуют тщательного учета потенциала природной среды, направленного воздействия на его субстанции, обеспечивающего долговременное повышение их продуктивности.

Классификация и анализ изменения природной обстановки под влиянием крупномасштабного орошения позволяет успешно формировать благоприятное его воздействие на основные естественные субстанции: почву, климат, гидрогеологическое и геоморфологическое строение, а также реку.

Закономерности в изменении водно-физических свойств почвогрунтов позволяют с помощью определенных конструктивных решений, а также мелиоративных процессов и методов производства работ добиться их улучшения или предотвращения вредного воздействия и использования в нужных целях.

Большинство управляемых изменений природных условий, которые могут иметь и положительную и отрицательную направленность, связаны с происходящими при орошении гидрогеологическими и почвенными процессами. Для обеспечения их положительной направленности необходимо создание искусственной дренированности (там, где ее недостаточно), выбора почвообразующего процесса и определенного мелиоративного режима.

Формирование на орошаемой территории оптимальных мелиоративных режимов позволяет резко снизить загрязнение стока рек солями и другими вредными химическими веществами (пестицидами, химикатами).

Установлены основные требования к совершенной оросительной системе в аридной зоне, ее особенность как системы, имеющей работоспособность, близкую к единице, при минимальных затратах средств и расхода воды. На основе этих требований и составления целевой функции оросительной системы показан принцип выбора и увязки между собой техники полива, оросительной сети и дренажа.

Особое значение при оценке работоспособности системы имеет водоудерживающая способность почв, которая создает определенный резерв или, наоборот, при большой водоотдаче заставляет применять специальный способ и технику полива (высокочастотное орошение), предусмотреть соответствующие запасы в параметрах каналов.

Плановая увязка сети дренажа с техникой полива может либо увеличивать равномерное воздействие воды и надежность системы, либо, наоборот, усилить неоднородность увлажнения и рассоления; разработаны рекомендации для правильного их размещения.

Для планирования оптимальной организации строительства и освоения земель необходимо:

установить продолжительность и сроки подготовительного и основных периодов строительства и освоения, а также распределение капиталовложений между ними;

выбрать очередность строительства хозяйств, исходя из минимизации по межхозяйственным коммуникациям;

определить оптимальные сроки строительства каждого хозяйства, увязать их по сквозному сетевому графику;

наметить способ освоения земель, позволяющий получить наивысшие темпы роста их продуктивности для данных условий.

Экономическая эффективность создания ирригационных комплексов определяется по суммарному эффекту и затратам всех участников комплекса в их динамике за весь период освоения с учетом социального и экологического факторов. Для этого предложена соответствующая методика.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Маркс К.* Английское владычество в Индии. — Маркс К., Энгельс Ф. Соч., 2-е изд. т. 9.

2. *Брежнев Л. И.* О дальнейшем развитии сельского хозяйства СССР. Ленинским курсом. Речи и статьи, — М.: Политиздат, 1978.

3. *Айдаров И. П., Каримов Э.* Некоторые вопросы обоснования мелиоративных режимов орошаемых земель при проектировании оросительных систем. Водные ресурсы, 1974, № 2, с. 103—105.

4. *Баер Р А., Грыза А А., Любаев Б. В., Смирнов Р. А.* Инженерно-гидрологическое обоснование мелиоративного строительства. — Київ: Будівельник, 1978

5. *Бойко В. Ф., Духовный В. А.* Влияние мощности производственной базы строительства на производительность труда. — Гидротехника и мелиорация, 1976, № 1, с. 86—88.

6. *Будников М. С.* О перспективах научных исследований в области технологии и организации строительства. — Київ: Будівельник, 1965.

7. *Будыко М. И.* Изменение климата. — Л.: Гидрометеоиздат, 1974.

8. *Волобуев В. Р.* Введение в энергетику почвообразования. — М.: Наука, 1974, с. 16—102.

9. *Воропаев Г. В.* Оценка эффективности капитальных вложений в мелиоративное строительство. — Гидротехника и мелиорация, 1971, № 12.

10. *Галямин Е. П.* О построении динамической модели формирования урожаев агроценезов. В сб.: Биологические системы в земледелии. — М.: Наука, 1974, с. 70—83.

11. *Голованов А. И.* Прогноз водно-солевого режима и расчет дренажа на орошаемых землях. — М.: 1975. Автореф. дисс. на соискание ученой степени доктора технических наук, МГМИ, с. 20—27.

12. *Горбачев Р. М.* Сводный отчет за 1976—1980 гг. — Ташкент, Архив САНИИРИ, с. 103—107.

13. *Губин Ф. Ф., Куперман В. Л.* Экономика водного хозяйства и гидротехнического строительства. — М.: Стройиздат, 1965, с. 14—82.

14. *Дунин-Барковский В. В.* Физико-географические основы проектирования оросительных систем. — М.: МСХ СССР. 1960.

15. *Духовный В. А.* Орошение и освоение Голодной степи. — М.: Колос, 1973, 237 с.

16. *Духовный В. А., Абдуллабиев А. Г., Озерский Е. И.* и др. Покорение Голодной степи.—Ташкент, Узбекистан, 1976 с. 310.

17. *Духовный В. А., Козуб Н. С., Хегай В. В.* К вопросу об эксплуатационной надежности конструкции закрытого дренажа—Ташкент, Труды САНИИРИ, № 153, 1977, с 16—22.

18. *Духовный В. А., Дудко О. П., Джураев Р. Х.* Укрупненные показатели строительной стоимости межхозяйственных оросительных каналов.—Ташкент, Труды САНИИРИ, 1978, вып. 156.

19. *Духовный В А., Баклушин М. Б, Серебренников Ф. Б., Томин Е. Д.* Горизонтальный дренаж орошаемых земель.—М., Колос, 1979.

20. *Духовный В.А.* К экономической оценке проектов орошения.—Гидротехника и мелиорация, 1979, № 10—11, 1980, № 1.
21. *Егоров В. В., Ковда В. А., Минашина Н. Г.* Почвы аридной зоны как объект орошения. —М., Наука, 1970.
22. *Зузик Д. Т.* Экономика водного хозяйства.—М.: Колос, 1980, с. 60—66.
23. *Кац Д. М.* Влияние орошения на грунтовые воды. — М.: Колос, 1976, с. 12—29.
24. *Киселева И. К.* Регулирование водно-солевого режима почв Узбекистана.—Ташкент: ФАН УзССР, 1973, с. 39—144.
25. *Ковда В. А.* Основы учения о почвах.—М.: Наука, 1973, (т. 1—2).
26. *Ковда В. А.* Научные и практические проблемы мелиорации почв.—Почвоведение, 1979, № 3.
27. *Колосовский Н. Н.* Основы экономического районирования — М.: Госполитиздат, 1958.
28. *Корсунь С., Янач Я.* Оптимальная концепция ирригационной системы. —Прага: Оломоуц, 1975.
29. *Красовский В. П.* Долгосрочные программы капитальных вложений. М.: Экономика, 1974, с. 16—34.
30. *Минашина Н. Г.* Солевой режим почв и дренаж грунтовых вод.—Хлопководство: 1975, № 6.
31. *Минашина Н. Г.* Мелиорация засоленных почв. — М.: Колос, 1978.
32. *Мирзаев С. Ш., Бакушева Л. П.* Оценка влияния водохозяйственных мероприятий на запасы подземных вод. — Ташкент: ФАН УзССР, 1979.
33. *Мирцхулава Ц. Е.* Надежность гидромелиоративных сооружений.—М.: Колос, 1974, с. 53—104.
34. *Мочалов И. П., Халиков А. Х., Олимов Х. О.* Процессы увлажнения и деформации по орошаемым полям в условиях Яванской долины, М., Сб. трудов ВНИГИМа, вып. 2, стр. 54—59.
35. *Натальчук М. Ф.* Внутрихозяйственная эксплуатация для оросительных систем. — М.: Колос, 1969, с. 60—68.
36. *Носенко В. Ф.* Принципы и основные положения районирования орошаемых земель по прогнозируемой технике полива. Труды ВНИИМТП—Коломна, 1976, с. 29—58.
37. *Озиранский С. Л.* Энергопромышленные комплексы на базе гидроэлектростанций. — М.: Энергетика, 1974.
38. Проблемы программно-целевого планирования и управления. Под ред. Г. С. Поспелова. — М.: Наука, 1981.
39. *Рабочев И. С.* и др. О водно-солевом балансе почв Мургабского оазиса. — Вестник сельхознауки, 1973, № 7.
40. *Рабочев И. С.* Влияние минерализованных вод на солевой режим почв и урожай сельскохозяйственных культур. — Ашхабад. Ылым, 1973.
41. *Раяцкас Р. Д.* Система моделей планирования и прогнозирования. — М.: Экономика, 1976, с. 85—320.
42. *Рябцев В. М.* Региональный анализ эффективности общественного производства. — М.: Статистика, 1977, с. 15—25.
43. Совершенствование организации и управления строительным производством. — Под редакцией В. М. Городничева. — Київ, Будівельник, 1977, с. 82—84.
44. *Сурин В. А.* Орошение просадочных массивов в условиях Средней Азии. — М., ЦБН ТИМВХ СССР, № 11, 1979, с. 17—45.
45. *Хачатуров Т. С.* Экономическая эффективность капитальных вложений и новой техники. —М., Соцэкоиз, 1959, с. 12—26.
46. *Хачатуров Т. С., Лойтер М. Н., Фейтельман Н. Г.* и др. Охрана окружающей среды и ее социально-экономическая эффективность. — М., Наука, 1980, с. 8—13.

47. *Ходжибаев Н. Н.* Крупные ирригационные каналы как водонапорные системы и их влияние на мелиоративное состояние земель. В кн.: Влияние орошения на вторичное засоление, химический состав и режим подземных вод. — М., Наука, 1964.

48. *Шейнкин Г. Ю.* Техника и организация орошения в Таджикистане.—Душанбе: Ирфон, 1970, с. 95—116.

49. *Шестаков В. М.* Динамика подземных вод. — М.: Изд-во МГУ, 1975.

50. *Шрейдер В. Р., Сафонов В. Ф., Паренчик Р. И.* Районирование режимов орошения. — Гидротехника и мелиорация., 1966, № 8.

51. *Шумакав Б. Б.* Оросительная система в хозяйстве. — М.: Россельхозиздат, 1975, с. 25—32, 98—99.

52. *Шумаков Б. Б., Кан Н. А., Столяров А. И.* и др. Математическое моделирование программирования урожая на орошаемых землях. — Вестник сельскохозяйственной науки, 1977, № 6, с. 115—121.

53. *Bernstain L., Francois L. E.* Comparison of drip, furrou and sprinkler iriigation. —Soil Science, 1973, p. 73—86.

54. *Popadopulos G., Domini F.* Padjey. Proceedings of VII Congress JCJD. New Delhi, 1969, p. 341—510.

55. *Lee K.* Project evalution. New Delhi, Proceedings of X Congress JCJD, 1978.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение 3

Глава I. Формирование ирригационных комплексов при орошении крупных массивов земель в аридной зоне и их связь с природными и экономическими условиями территории. 7
Оросительные работы в аридной зоне. 7
Опыт организации мелиоративного строительства и освоения земель в СССР и за рубежом 10
Природно - производственные ирригационные комплексы и их структура 16
Планирование развития природно-производственного комплекса 30
Связи природных составляющих комплекса 35

Глава II. Изменение природных условий под влиянием орошения и разработка методов направленного управления ими с помощью мелиоративных процессов 40
Направленность изменения природных условий при освоении крупных регионов 40
Типы взаимодействия орошения с природными условиями. . . . 43
Изменение климатических условий при орошении. 45
Управление почвообразовательными процессами—основа правильной экологической направленности освоения 51
Изменение гидрогеологических условий и режима влажности зоны аэрации 67
Изменение качества воды в реках и возвратных вод под влиянием орошения 78

Глава III. Принципы создания технически совершенных оросительных систем в аридной зоне 84
Требования к совершенным оросительным системам 85
Модель оросительной системы и роль ее основных конструктивных элементов 87
Мелиоративные режимы и их связь с водопотреблением 93
Оптимизация мелиоративных режимов 97
Выбор мелиоративных режимов применительно к различным природным условиям 103
Выбор способа и техники полива в условиях аридной зоны . . 110
Изменение водопотребления в процессе освоения земель и приспособление техники полива 119
Техника полива и расчетные параметры оросительной сети . . . 120
Выбор антифильтрационных мероприятий в увязке с мелиоративным режимом 127
Работоспособность дренажной сети 134
Роль эксплуатации в мероприятиях по обеспечению работоспособности системы 138

Глава IV. Организация строительства и освоение земель при создании природно-производственных ирригационных комплексов . 141
Виды работ по строительству и освоению и их увязка с периодами формирования комплекса 141
Оптимизация сроков подготовительных и основных работ . . . 143
Повышение эффективности строительства межхозяйственных коммуникаций 149
Строительство и освоение внутрихозяйственных объектов . . . 152
Повышение продуктивности новых земель в процессе освоения 160
Экономическая эффективность создания ирригационных комплексов и освоения крупных массивов нового орошения 164
Заключение 177
Литература 180

Виктор Абрамович Духовный

ИРРИГАЦИОННЫЕ КОМПЛЕКСЫ НА НОВЫХ ЗЕМЛЯХ СРЕДНЕЙ АЗИИ

Редактор Н. А. Кривоносова
Художник Г. Просвиров
Художественный редактор К. Алиев
Технический редактор А. Горшкова
Корректор М. Вяткина

ИБ № 2397

Сдано в набор 19.03. 1982 г. Подписано к печати 27.12. 1982 г. Р-01344. Формат 84×108¹/₃₂ Бумага типографская № 1. Гарнитура «Литературная». Печать высокая. Усл. печ. л. 9,66. Уч.-изд. л. 10,95. Тираж 2000. Заказ № 793 Цена 1 руб. 90 коп.

Издательство «Узбекистан». Ташкент, 3-700129, Навои, 30. Изд № 179—81.

Типография № 1 Ташкентского полиграфического производственного объединения «Матбуот» Государственного комитета УзССР по делам издательств, полиграфии и книжной торговли. Ташкент, Ж-700002, ул. Хамзы, 21.