

Украинская академия аграрных наук
ИНСТИТУТ ГИДРОТЕХНИКИ И МЕЛИОРАЦИИ

На правах рукописи

АНГУТАЕВ Абдулла Газиевич

УДК 631.67 : 551.4

НОРМИРОВАНИЕ ВОДОСВЕТЕНИЯ
В ОРОШАЕМОМ ЗЕМЛЕДЕЛИИ

Специальность 06.01.02 - Мелиорация и орошаемое
земледелие

А в т о р е ф е р а т
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Киев 1994



00344065 (M)

006.8
 Диссертацией является рукопись
 Диссертационная работа выдана
 и мелиорации Украинской Академии аграрных наук

Научный руководитель

- кандидат технических наук,
 старший научный сотрудник
 МИХАЙЛОВ В.А.

Официальные оппоненты:

- академик Инженерной Академии
 Украины, член.-корр. Международ-
 ной Инженерной Академии, доктор
 технических наук, профессор
 КИЕНЧУК А.Ф.

кандидат технических наук, стар-
 ший научный сотрудник
 САВЧУК Д.П.

Ведущая организация

- Укрводпроект

Защита состоится "27" апреля 1994 г. в 10 часов на
 заседании специализированного ученого совета К.020.56.01 по
 присуждению ученой степени кандидата технических наук в Институте
 гидротехники и мелиорации Украинской Академии аграрных наук.

Отзывы и замечания на автореферат в двух экземплярах,
 заверенных печатью, просим направлять по адресу:

252022, г.Киев, ул.Васильковская, 37, ИГиМ УААН.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке института.

Автореферат разослан "24" марта 1994 г.

Ученый секретарь
 специализированного совета
 кандидат сельскохозяйственных наук,
 старший научный сотрудник

Д.М.ФЕНЕНКО

478-29, 434

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Орошение вносит существенное изменение в водный баланс суши, в результате чего в ранее бессточных регионах возникают постоянные водотоки. Этому казалось бы положительному явлению сопутствует целый ряд негативных. Отводимая с орошаемых территорий вода, как правило, плохого качества, то есть содержит вредные химические соединения, и отличается высокой минерализацией, что не позволяет использовать ее на хозяйственные нужды без предварительной сложной и дорогостоящей подготовки. Попадая в естественные водоемы, эта вода наносит существенный вред их экосистемам, способствует так называемому качественному истощению ресурсов пресных вод.

Для того, чтобы еще на стадии проектирования предусмотреть масштабы такого негативного влияния орошения на природную среду, выработать мероприятия по их предупреждению и компенсации, необходимо знать условия и основные закономерности формирования стока воды (водоотведения) с орошаемых земель, технологически неизбежные его объемы в зависимости от природных и хозяйственных условий.

Цель работы состоит в повышении эффективности планирования использования и управления водными ресурсами в орошаемом земледелии на основе нормирования водоотведения.

Для достижения поставленной цели решались следующие основные задачи:

- разработана методика изучения и нормирования водоотведения;
- теоретически и экспериментально установлены закономерности формирования водоотведения в условиях орошения на Украине и в Дагестане;
- обоснованы нормы водоотведения различной обеспеченности по

дефициту водопотребления;

- предложены методы практического применения норм водоотведения и выявленных закономерностей его формирования.

В качестве теоретической основы исследований использованы методы теории вероятности и математической статистики, воднобалансовый метод, учение о речном стоке.

Методическая основа исследований состоит в конкретном применении теоретических основ:

- постановке эксперимента и частных решениях уравнений водного баланса орошаемого поля и орошаемого контура;

- решению уравнений водного баланса относительно элементов, характеризующих водоотведение (метод обратных задач);

- экспериментальном и статистическом обосновании ряда параметров эмпирических формул для определения отдельных элементов водного баланса и водоотведения.

Объектом исследований являются водопользование, как технологический процесс, отдельные орошаемые поля, оросительные системы зоны Главного Каховского магистрального канала (ГЮМК) и Северо-Крымского канала (СКК), приморской зоны Дагестана.

Материалами исследований послужили экспериментальные данные, полученные лично автором или при его участии, фондовые материалы организаций системы Госводхоза Украины и республики Дагестан, результаты воднобалансовых наблюдений и расчетов, выполненных в Институте гидротехники и мелиорации за период с 1981 по 1993 г.г.

Научная новизна. 1. Теоретически и экспериментально обоснована методика расчета нормативных показателей и коэффициентов водоотведения, формирующегося на оросительных системах при поливе дождеванием. 2. Установлены закономерности формирования водного баланса и водоотведения на орошаемых полях в условиях дефицита поступления

оросительных и атмосферных вод и на оросительных системах.

3. Исследован многолетний и внутригодовой режим водоотведения, генезис отводимых вод. 4. Обоснованы нормативные показатели и коэффициенты водоотведения с орошаемых земель в условиях Украины и Дагестана. 5. Разработаны методики обоснования емкостей для регулирования водоотведения и необходимой дренированности территории в пределах оросительных систем.

Предмет защиты. Методика нормирования водоотведения, основанная на зависимости его от суммарного водопотребления и коэффициентов полезного действия оросительной сети и орошаемого поля.

Практическая значимость работы. При проектировании оросительных систем можно оценить объем и режим водоотведения, размеры емкостей для накопления и утилизации отводимых вод, допустимую нагрузку на естественные водоемы, служащие в качестве водоприемников. В процессе эксплуатации оросительных систем установленные закономерности формирования водоотведения позволяют планировать водопользование и управлять им, контролировать его качество, экономно использовать водные ресурсы, поддерживать благоприятную эколого-мелиоративную обстановку на орошаемых и прилегающих к ним землях.

Реализация работы. Результаты исследований, изложенные в диссертационной работе, использованы при составлении Укрводпроектом ТЭО защиты Сиваша и Каркинитского залива, IV очереди СКК.

Апробация работы. Результаты работы докладывались на научно-техническом семинаре при Дагестанском политехническом институте "Проблемы гидроэкологии Дагестана" (г.Махачкала, 1992 г.), на XIX итоговой научно-технической конференции Дагестанского политехнического института (г.Махачкала, 1993 г.), на международной научной конференции "Оросительные мелиорации - их развитие, эффективность и проблемы" (г.Херсон, 1993 г.).

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав, выводов, списка литературы и приложений. Список литературы включает наименований. Работа изложена на 133 стр. машинописного текста, включая 19 таблиц, 8 рисунков и 9 приложений.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении раскрывается актуальность темы диссертации, сформулированы цель и задачи исследований, научная новизна и практическая значимость их результатов, дается общая характеристика диссертационной работы.

I. СОСТОЯНИЕ НОРМИРОВАНИЯ ВОДОПОЛЬЗОВАНИЯ В ОРОШАЕМОМ ЗЕМЛЕДЕЛИИ

Водопользование в орошаемом земледелии – это комплекс технологических операций, включающий забор воды из источника орошения, ее транспортировку, распределение между водопользователями (водораспределение), перевод воды из состояния тока в состояние почвенной влаги (полив), удаление излишков поверхностных и грунтовых вод (водоотведение) в водоприемники.

Нормирование водопользования есть установление меры потребления и отведения воды для обеспечения оптимального водно-солевого режима почв орошаемой территории с целью поддержания благоприятной гидрогеолого-мелиоративной обстановки и охраны окружающей среды.

Первым успешным этапом в нормировании водопользования стал введенный с января 1984 г. СТЭН-33-1.1.01.83 "Укрупненные нормы водопотребности для орошения по природно-климатическим зонам СССР", предназначенный для использования в предпроектных разработках при составлении отраслевой схемы развития мелиорации на период до 2006 г.,

а также бассейновых схем комплексного использования и охраны водных и земельных ресурсов. Нормы разработаны по региональным методикам для ЕТС, Средней Азии, Казахстана, Восточной Сибири и Дальнего Востока в привязке к административным областям и зонам естественной увлажненности.

На Украине разработкой норм водопотребности занимается В.П.Остапчик, Л.А.Филиппенко, Т.Ф.Деменкова и др.

Задача нормирования водоотведения была поставлена в 1980 г. Этому предшествовали многолетние исследования, начатые еще в 30-е годы в бассейнах рек Амударья и Сырдарья. Вначале вместо термина "водоотведение" фигурировало понятие "возвратные воды" как часть поданной для орошения воды, стекающей с территории оросительной системы поверхностным и подземным путями в русла рек. Другие исследователи включали в "возвратные воды" сток воды, формирующийся за счет атмосферных осадков. С.И.Харченко и Г.П.Левченко была предложена методика разделения возвратных вод на естественную и ирригационную составляющие путем решения уравнения водного баланса в двух его состояниях: до орошения и после.

Исследованиями А.Ф.Киенчука, Д.А.Михайлова, Д.Л.Смехнова, И.С.Шпака, А.В.Штаковского и др. было показано, что при орошении земель за счет переброски части стока рек возвратных вод, как таковых, нет, поэтому более общим термином является водоотведение, характеризующее сток воды за пределы орошаемого контура, организованный искусственным образом с помощью инженерных сооружений (дренажа, сбросных каналов и др.).

Работами А.Ф.Киенчука, П.И.Коваленко, Д.А.Михайлова, Д.П.Савчука, Д.Л.Смехнова, И.С.Шпака и др. была обоснована методика экспериментального определения водоотведения, установлены закономерности формирования таких элементов водоотведения, как: фильтрации и сбро-

са воды из открытых оросительных каналов; дренажно-сбросного стока за пределы орошаемых контуров, отдельных массивов и полей; стока воды с рисовых севооборотов. Кроме того, изучен водный баланс орошаемых земель как по отдельным системам, так и по орошаемому региону Украины в целом.

Накопленный теоретический и экспериментальный материал позволил приступить к следующему этапу решения проблемы нормирования водопользования в орошаемом земледелии - нормированию водоотведения.

2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ НОРМИРОВАНИЯ ВОДООТВЕДЕНИЯ В ОРОШАЕМОМ ЗЕМЛЕДЕЛИИ

Теоретическая основа исследований - метод водного баланса, являющийся следствием закона сохранения материи, в соответствии с которым разница между количеством воды, поступившей за конечный интервал времени в определенный пространственный объем, и вышедшей из него, равна увеличению или уменьшению содержания воды внутри этого балансового объема.

Водный баланс описывается уравнениями, структура которых зависит от размеров и строения балансового объема, длительности интервала времени (расчетного периода), величины и режима водопоступления и путей расходования воды. В левой части уравнения принято записывать элементы, характеризующие приход воды в заданный балансовый объем, в правой - ее расход и изменение водности. Приходная часть является по существу независимой переменной (аргументом), расходная - зависимой (функцией). Уравнения принадлежат к неявному виду и в реальной области изменения аргументов имеют нелинейный характер. Решение таких уравнений, доведенное до количественной оценки каждого элемента, характеризует водный баланс исследуемого объекта.

Водоотведение возникает в результате превышения водопоступлением суммарного испарения и аккумулирующей способности балансового объема. Следует различать полное и фактическое водоотведение.

Полное водоотведение ($B_{оп}$) суммирует все потери оросительных и дождевых вод в пределах оросительной системы, фактическое водоотведение ($B_{оф}$) - это сток воды поверхностным и подземным путем за пределы оросительной системы вследствие естественной и искусственной дренированности ее территории

$$B_{оп} = [(Y_{дн} + Y_{дф} + Y_{опн}) + (Y_{гд} - Y_{гп}) + J_{дск}]_{(1)} + (\Delta S_{\alpha} + \Delta S_{\Gamma}) = P_{\alpha} + X_{\alpha} - E_{\alpha} - \Delta S_{ПК},$$

$$B_{оф} = [(Y_{дн} + Y_{дф} + Y_{опн}) + (Y_{гд} - Y_{гп}) + J_{дск}] + \Delta S_{ПК} = P_{\alpha} + X_{\alpha} - E_{\alpha} - \Delta S_{\alpha} - \Delta S_{\Gamma}, \quad (2)$$

где: P_{α} - водозабор-брутто оросительных вод; X_{α} - атмосферные осадки; E_{α} - суммарное испарение; $Y_{дн}$ - дренажный сток; $Y_{дф}$ - сток воды, образующийся в результате дренирования грунтовых вод естественной гидрографической сетью; $Y_{опн}$ - поверхностный сток оросительных и дождевых вод; $Y_{гд}$ и $Y_{гп}$ - отток и приток грунтовых вод подземным путем; $J_{дск}$ - фильтрация воды из сбросных каналов, искусственных и естественных коллекторов; $\Delta S_{ПК}$ - изменение влагозапасов в корнеобитаемом слое; ΔS_{α} - то же в зоне аэрации; ΔS_{Γ} - изменение запасов грунтовых вод.

Разделив уравнения (1) и (2) на $P_{\alpha} + X_{\alpha}$, получим: коэффициент полного водоотведения -

$$\alpha_{п} = \frac{B_{оп}}{X_{\alpha} + P_{\alpha}}; \quad (3)$$

коэффициент фактического водоотведения -

$$\alpha_{\phi} = \frac{B_{\phi}}{x_{\phi} + P_{\phi}}; \quad (4)$$

коэффициент использования водных ресурсов -

$$\eta_{\phi} = \frac{E_{\phi}}{x_{\phi} + P_{\phi}}; \quad (5)$$

коэффициент изменения водности

$$\beta_{\phi} = \frac{\Delta S_{\phi} + \Delta S_{r}}{x_{\phi} + P_{\phi}}. \quad (6)$$

Задача нормирования относится только к полному водоотведению, так как именно оно определяет тот излишек воды, формирующийся в пределах оросительной системы, который в целях поддержания благоприятной гидрогеолого-мелиоративной обстановки на орошаемых и прилегающих к ним землях следует отводить с помощью дренажной и сбросной сети.

С учетом того, что $E_{\phi} = \bar{M} + x_{\phi} - (1 - \bar{\eta}_{\pi}) \cdot x_{\phi} - \alpha_x \cdot x_{\phi}$, $\bar{P}_{\phi} = \bar{M} / \bar{\eta}_{\phi\phi}$, $\bar{\eta}_{\phi\phi} = \bar{\eta}_c \cdot \bar{\eta}_{\pi}$, $\alpha_x = \frac{1}{x_{\phi}} \exp(0,007x_{\phi} + 1,2)$, формулы (1) и (3) примут следующий вид:

$$\bar{B}_{\phi\pi} = \frac{1 - \bar{\eta}_{\phi\phi}}{\bar{\eta}_{\phi\phi}} \bar{M} + (1 - \bar{\eta}_{\pi}) \cdot x_{\phi} + \exp(0,007x_{\phi} + 1,2), \quad (7)$$

$$\bar{\alpha}_{\pi} = \frac{(1 - \bar{\eta}_{\phi\phi}) \cdot \bar{M} + \bar{\eta}_{\phi\phi} (1 - \bar{\eta}_{\pi}) x_{\phi} + \bar{\eta}_{\phi\phi} \exp(0,007x_{\phi} + 1,2)}{\bar{M} + \bar{\eta}_{\phi\phi} \cdot x_{\phi}} \quad (8)$$

где \bar{M} - групповая (взвешенная по культурам для типового севооборота) норма водопотребности-нетто, мм; x_{ϕ} - осадки, мм; $\bar{\eta}_c$ и $\bar{\eta}_{\pi}$ - КПД соответственно оросительной сети и орошаемого поля; $\bar{B}_{\phi\pi}$ - нормативный показатель полного водоотведения; $\bar{\alpha}_{\pi}$ - нормативный коэффициент полного водоотведения.

Под нормой водоотведения следует понимать не какую-то фиксированную величину, а вероятное ее значение, соответствующее групповой норме водопотребности-нетто заданной обеспеченности по дефициту водопотребления, то есть норма водоотведения обеспеченности 5, 25, 50, 75 и 95% указывает на то, что она имеет место при водозаборе, спланированном и реализованном на групповую норму водопотребности-нетто соответственно 5, 25, 50, 75 и 95% обеспеченности.

Фактическое водоотведение можно измерить в устьях искусственных и естественных водотоков, установить воднобалансовыми исследованиями или расчетами по формуле (2), использовать различные эмпирические зависимости.

Например, исследованиями Д.А.Михайлова и Ю.Л.Смехнова установлено, что коэффициент использования водных ресурсов (КИВР) аппроксимируется функцией

$$\eta_0 = \exp \left[A \frac{((x_0 + P_0) - B)^2}{x_0 + P_0} \right] - C, \quad (9)$$

тогда, согласно (4)-(6) при $\beta_0 \approx 0$

$$\alpha_{\phi} = 1 - \exp \left[A \frac{((x_0 + P_0) - B)^2}{x_0 + P_0} \right] + C, \quad (10)$$

где А, В, С - эмпирические коэффициенты.

3. ЗАКОНОМЕРНОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ВОДООТВЕДЕНИЯ С ОРОШАЕМЫХ ЗЕМЕЛЬ

В формулах (7) и (8) фигурируют параметры $\bar{\eta}_{OB}$ и $\bar{\eta}_{П}$, значение которых можно установить из таблиц, опубликованных П.И.Коваленко и Д.А.Михайловым. В этих таблицах не отражены особенности форми-

рования водного баланса и водоотведения в условиях существенного дефицита водопоступления. Для восполнения этого пробела были проведены воднобалансовые наблюдения на орошаемом севообороте в колхозе им. Чапаева Васильевского района Запорожской области и орошаемом массиве Пригородного управления оросительных систем (УОС) республики Дагестан. В первом случае (участок I) полив осуществляется ДМ "Фрегат", грунтовые воды залегают глубоко. Во-втором случае (участок II) половина площади поливается ДДА-100МА, половина - по бороздам; грунтовые воды залегают на глубинах 0,4-1,8 м и разгружаются в кротовые дрены и открытые коллектора.

Результаты воднобалансовых исследований на I участке приведены в табл. I. Оптимальный водный баланс рассчитан по методике Ю. Л. Смехнова. Фильтрационные сбросы из 3-метрового слоя почвогрунтов вычислялись по уравнению водного баланса

$$Y_n = P_n + X_n - E_n - \Delta S_{nk}, \quad (II)$$

поверхностные сбросы отсутствовали, влажность почвы и влагозапасы определялись термостатно-весовым способом в начале и конце периодов наблюдений.

За три года наблюдений ни на одном поле севооборота не сложился водообмен, близкий к оптимальному. Оросительная норма была в среднем в 3,7 раза меньше текущей нормативной групповой водопотребности-брутто, в результате чего суммарное водопоступление с учетом подпитки расчетного 3-метрового слоя почвогрунтов из нижележащих горизонтов составило 43% от необходимого.

В фактическом водном балансе атмосферные осадки равны в среднем половине суммарного водопоступления, в оптимальном - немногим более 20%, а для люцерны - 10%. Недостаток воды обусловил то, что фактическое суммарное испарение составило только 70% оптимального

и превышало водопоступление в 1,7 раза, в результате чего происходила интенсивная сработка запасов влаги в 3-метровом слое почвогрунтов, а фильтрация в целом по севообороту отсутствовала, наоборот, влага подтягивалась из нижележащих горизонтов.

Таблица I

Фактический и оптимальный водный баланс орошаемого севооборота колхоза им. Чапаева.

Период наблюдений	Элементы водного баланса, мм/сут					
	приходные		расходные		изменение	
	атмосферные осадки	поливные воды	суммарное испарение	фильтрационные сбросы за 3-метровый слой	влагозапасов в 3-метровом слое почвогрунтов	
Фактический баланс						
18.06- 6.10.1990	0,36	0,44	1,74	0,04	- 0,98	
4.05- 2.10.1991	0,70	0,87	2,10	- 0,04	- 0,49	
8.06- 7.10.1992	0,80	0,56	2,41	- 0,29	- 0,76	
31.05- 5.10.1990-1992	0,62	0,62	2,08	- 0,10	- 0,74	
Оптимальный баланс						
18.06- 6.10.1990	0,36	2,31	2,88	0,01	- 0,22	
4.05- 2.10.1991	0,70	2,55	3,07	0,02	0,16	
8.06- 7.10.1992	0,80	2,02	2,99	0,15	- 0,32	
31.05- 5.10.1990-1992	2,29	2,29	2,98	0,06	- 0,13	

При оптимальном увлажнении водоотведение за счет незначительных фильтрационных потерь составило бы от 0,01 до 0,15 мм/сут, в среднем 0,06, при этом $\bar{\eta}_n = 0,98$, $\alpha_n = 0,02$.

То, что фактический КПД орошаемого севооборота больше норма-

тивного и равен 1,0, означает, что система работала за счет внутренних резервов воды — влагозапасов, накопленных в балансовом объеме на начало поливного сезона. Кроме того, фактическое суммарное испарение меньше оптимального свидетельствует, что физиологические потребности сельскохозяйственных культур во влаге были ущемлены. Особенно это было видно на полях люцерны ($E_n/\bar{E}_n = 0,44$) и кукурузы (0,34—0,37).

Из табл. I следует, что в условиях существенного дефицита суммарного водопоступления водоотведение практически отсутствует. Из 30 опытов только в 15 зафиксированы фильтрационные потери, причем только в 10 случаях они больше 0,1 мм/сут. При этом фильтрация обусловлена наложением атмосферных осадков на поливы и носит локальный характер, то есть сосредоточена в понижениях рельефа.

При оптимальном водопоступлении водоотведение имело бы место в 17 случаях, в том числе с интенсивностью более 0,1 мм/сут в 9 случаях и практически только на полях с кукурузой, где формируется своеобразный микроклимат и, кроме того, корневая система усваивает влагу в основном в 2-метровом слое почвогрунтов.

В условиях значительного дефицита поступления оросительных вод в 3-метровой толще почвогрунтов начинает преобладать восходящий поток влаги, затрагивающий более глубокие горизонты. Это явление имеет место: в приканальной зоне, где образуется капиллярно-грунтовый поток за счет фильтрации из каналов; в подовых понижениях, где образуется капиллярно-подвешенная влага типа верховодки на оглеенных горизонтах; на полях с посевами люцерны, корневая система которой способна потреблять воду с глубины до 5 м и более.

Оптимизация суммарного водопоступления привела бы к минимизации фильтрационных потерь воды и сработки влагозапасов в расчетном слое. Фильтрационные потери начинают наблюдаться, если интен-

сивность суммарного водопоступления превышает некоторую критическую величину, равную 85-90% от интенсивности суммарного испарения, что для пшеницы составляет 2,2, кукурузы 2,5, люцерны 4,3 мм/сут., а в среднем за три года по севообороту 3,0 мм/сут. Значение критической величины суммарного испарения соответствует параметру B в формулах (9) и (10).

Рассмотрим теперь водный баланс орошаемых земель в условиях дефицита водопоступления и близкого залегания грунтовых вод (табл.2).

Таблица 2

Водный баланс орошаемого массива Пригородного УОС

Период наблюдений	Элементы водного баланса, мм/сут						
	приходные		расходные			изменение запасов	
	атмосферные осадки	водозабор	суммарное испарение	дренажный сток	поверхностный сток	воды в корнеобитаемом слое	грунтовых вод

1988 - 1991 г.г.

апрель	0,60	0,43	0,53	0,34	0,57	0,00	0,00
май	1,36	1,00	2,77	0,81	0,00	-0,61	-0,61
июнь	0,93	1,47	5,34	0,93	0,00	-2,67	-1,20
июль	0,87	2,26	6,97	1,32	0,00	-3,71	-1,45
август	0,52	2,26	6,10	1,26	0,00	-2,94	-1,64
сентябрь	1,47	1,27	3,73	0,90	0,20	-1,10	-1,00
апрель- сентябрь	1,45	0,96	4,24	0,93	0,06	-1,84	-0,98

Доля оросительных вод в суммарном водопоступлении на орошаемый массив Пригородного УОС республики Дагестан колеблется в пределах от 40 до 80%, в среднем 60%, но в целом воды не хватает, так как суммарное испарение превышает его почти в два раза (178%).

Водоотведение формируется в основном (на 94%) за счет дренаж-

ного стока, составляет в среднем 36% от суммарного водопоступления и характеризует параметр D в формулах (9) и (10), то есть величину фильтрационного питания грунтовых вод.

Величина суммарного испарения достаточно высокая (в среднем 780 мм за сезон) и на 65% формируется за счет подпитки грунтовыми водами. Деление изменения запасов воды в почвенно-грунтовой толще на составляющие чисто условное. Зона аэрации является по существу транзитной зоной для потока капиллярной влаги, направленного снизу вверх. Выделить в этом случае влагозапасы, накопленные в зоне аэрации на начало оросительного сезона, можно, и они будут не менее, чем при наименьшей влагоемкости (для 1,5 метрового слоя около 630 мм), но в этом нет необходимости. В нашем случае на опытном массиве сработка влагозапасов в зоне аэрации составила 338 мм (77%), в зоне насыщения - 181 мм (41%).

При близком залегании грунтовых вод, когда они предопределяют характер водообмена в зоне аэрации, нижняя поверхность балансового объема может совпадать с положением зеркала грунтовых вод на начало и конец расчетного периода, в результате чего балансовый объем изменяется. Сработавшиеся запасы грунтовых вод в этом случае являются приходными элементами уравнения водного баланса. Грунтовые воды подпитывают зону аэрации, компенсируя дефицит водопотребления, равный $\Delta S_{пк}$. Исходя из этого, КПД орошаемых полей II опытного участка равен 0,71, коэффициент водоотведения 0,40; а с учетом подпитки грунтовыми водами - 0,29.

Если же за нижнюю поверхность балансового объема принять водопупор, то КПД орошаемых полей будет равен 1,0; потому что, как и в экспериментах, выполненных на опытном севообороте Запорожской области, будет преобладать односторонний, снизу-вверх, вертикальный влагоперенос, то есть расход воды будет всегда равен ее приходу.

Для выявления общих закономерностей формирования водоотведения на орошаемых полях при поливе широкозахватной дождевальной техникой дополнительно были использованы материалы воднобалансовых исследований, опубликованные в работах П.И.Коваленко, Ю.А.Михайлова, Ю.Л.Смехнова, И.С.Шпака.

Обнаружена достаточно тесная ($\gamma = 0,80$) связь между коэффициентом водоотведения и суммарным водопоступлением, которую можно аппроксимировать линейными функциями:

для люцерны -

$$\alpha_{\pi, \lambda} = 0,04 (X_0 + P_0) , \quad (12)$$

при $0 < (X_0 + P_0) < 6,0$ мм/сут. ;

кукурузы -

$$\alpha_{\pi, \kappa} = 0,06 (X_0 + P_0) + 0,06 ,$$

при $0,5 < (X_0 + P_0) < 8,5$ мм/сут.

Таким образом, с увеличением водопоступления возрастает водоотведение.

Для выявления закономерностей формирования водоотведения за пределы оросительных систем были использованы материалы натуральных наблюдений в северном степном Крыму, проведенных в 1983-1991 г.г. под руководством И.К.Супряги, воднобалансовых наблюдений и расчетов в зоне СКК и ГКМК, выполненных при участии автора под руководством Ю.А.Михайлова.

Данные для северного степного Крыма свидетельствуют о слабой изменчивости годового объема стока с полевых севооборотов в течение наблюдаемого периода. Исключение составляет 1987 г., когда к началу весеннего снеготаяния накопилось значительное количество твердых осадков (в январе-марте выпадало 165 мм). В остальные годы отклонение от среднего значения не превышает в целом по районам

±5%. Сток воды с рисовых севооборотов также изменяется по годам незначительно.

Для полевых и рисовых севооборотов наблюдаются характерные периоды стокообразования, начало и окончание которых совпадают по времени. В ноябре-феврале сток характеризуется наименьшими значениями, причем с рисовых севооборотов он практически отсутствует (0,7-1,8 млн.м³/месяц), а с полевых севооборотов стекает около 20 млн.м³ в месяц.

В марте, в следствие снеготаяния, сток воды несколько повышается, но основная фаза подъема приходится на апрель, то есть начало поливов и заполнение рисовых чеков водой. Заканчивается подъем в мае, амплитуда его на рисовых севооборотах по отношению к апрелю составляет от 3 до 6 раз, на полевых севооборотах около 15 раз.

В мае-сентябре сток воды со всех этих севооборотов практически стабилизируется и только с окончанием поливов в октябре месяце начинает постепенно снижаться до ноября.

Для выявления генезиса водоотведения нами произведено расчленение гидрографа стока воды с Джанкойской и Кировской оросительных систем на основные составляющие, а именно: поверхностный сток талых вод; поверхностный сток дождевых вод; поверхностный сток оросительных вод; сток за счет искусственного дренирования; сток за счет естественного дренирования балочной сетью; коммунальный сток.

Водоотведение с Джанкойской оросительной системы (ОС) на 71% формируется за счет поверхностных вод, причем 31% составляют коммунальные стоки, 14% стока дают атмосферные осадки и 26% оросительные воды. Грунтовая составляющая равна 29%, из которой 19% приходится на искусственный дренаж и 10% грунтовых вод дренируется гидрографической сетью.

Водоотведение с территории Кировской оросительной системы:

формируется в основном за счет грунтовой составляющей - 84%, причем 50% приходится на искусственный дренаж и 34% на естественное дренирование. Доля поверхностного стока составляет всего только 16%, из которой 10% формируют оросительные воды и 6% атмосферные осадки.

Сравнительный анализ генезиса водоотведения в различных условиях показывает (табл.3), что в структуре водоотведения с Джанкойской оросительной системы преобладает поверхностный сток, что объясняется большой величиной водозабора на орошение. Стокообразующая роль оросительных вод выше, чем атмосферных. При практически равных атмосферных осадках водозабор в Джанкойской ОС в 3,5-4 раза больше, чем в Кировской ОС. Отсюда примерно такое же соотношение между долей поверхностного стока в общем объеме стока для этих систем.

Таблица 3

Сравнительный анализ составляющих стока воды за пределы Джанкойской и Кировской оросительных систем

Составляющие стока	: Сток, в % от : : суммарного : :-----: 4дж		
	: Джанкой-: Киров- : : ская ОС : ская ОС : : 4дж : 4кр : :-----: 4кр		
Сток - всего	100	100	-
в том числе:			
Поверхностный:	57	16	3,6
а) за счет оросительных вод;	37	10	3,7
б) за счет атмосферных осадков и талых вод	20	6	3,3
За счет дренирования:	43	84	0,5
а) систематическим искусственным дренажем	28	50	0,6
б) главными коллекторами	15	34	0,4

Дренирующая роль главных коллекторов, проложенных по руслам балок и рек, практически одинакова: 14,6 млн.м³/год для Джанкойской ОС и 13,5 млн.м³/год для Кировской ОС. Объем дренажного стока в Джанкойской ОС в 1,5 раза больше только по причине большей (в 2,5 раза) площади дренажа.

Водоотведение за пределы орошаемых контуров находится в достаточно тесной (корреляционное отношение равно 0,95) зависимости от водопоступления. Для северного степного Крыма в целом

$$S_{\sigma\phi} = 0,22 (X_{\sigma} + P_{\sigma}) - 0,3 \cdot 10^{-4} (X_{\sigma} + P_{\sigma})^2 - 53, \text{ (млн.м}^3\text{)}. \quad (14)$$

Существует критическая величина водопоступления, равная 650 млн.м³/год, при превышении которой коэффициент водоотведения возрастает в 2-3 раза. Для оросительных систем северного степного Крыма зависимость (14) выражена очень слабо. Причина заключается в незначительном изменении водопоступления по годам, несмотря на большую вариацию обеспеченности оросительных сезонов по дефициту водопотребления.

Коэффициент фактического водоотведения для оросительных систем СКК и ПМК можно вычислить по эмпирической формуле (10), значения параметров которой приведены в табл.4.

Таблица 4

Расчетные параметры формулы (10) для определения фактического водоотведения

Расчетный период	Параметры формулы (10)		
	A	B	C
апрель, октябрь	-0,7	0,2	0,10
май	-0,6	0,6	0,12
июнь, июль, август	-0,3	0,6	0,12
сентябрь	-1,4	0,6	0,13
Оросительный сезон	-0,35	5,4	0,16

Удельные показатели (тыс. м³/га) водоотведения можно рассчитать по формуле

$$B_{\text{оф}} = 0,08 (x_{\text{о}} + P_{\text{о}})^2 + 0,29 (x_{\text{о}} + P_{\text{о}}). \quad (15)$$

4. НОРМАТИВНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ И КОЭФФИЦИЕНТЫ ВОДООТВЕДЕНИЯ С ОРОШАЕМЫХ ЗЕМЕЛЬ УКРАИНЫ И ДАГЕСТАНА

Практически все орошение сосредоточено в 12 административных областях Украины, причем 73% в Южном природно-экономическом районе. Для расчета норм водоотведения для этих областей использованы групповые нормы водопотребности-нетто, разработанные под руководством В.П.Осталчика. Нами только произведено сглаживание рядов норм водопотребности для того, чтобы учесть вариацию, равную 0,2-0,3.

Для приморской зоны Дагестана имелся всего лишь пятилетний период наблюдений. Групповые нормы водопотребности рассчитывались по той же методике, что и для Украины. Значение норм необходимой обеспеченности определялось интерполированием.

Максимальная изменчивость нормативных показателей в пространстве при одном и том же уровне естественной влагообеспеченности составляет 45-65 мм или 30%. Объясняется это тем, что так же изменяется по территории групповая норма водопотребности-нетто (табл.5). Так как при нормировании по существу моделируется оптимальный водный баланс, когда дефицит водопотребления компенсируется поливами, то излишки воды, формирующие полное водоотведение, будут минимальными и одними и теми же для весьма удаленных друг от друга областей.

Еще более несущественное изменение норм водоотведения наблюдается во времени. Водоотведение несколько больше во влажные годы, что обусловлено стоком дождевых вод. Чем суше сезон, тем меньше выпадает атмосферных осадков, но тем больше водоподача на орошение и роль ее в формировании полного водоотведения. Но и абсолютная,

и относительная величина полного водоотведения остается без выраженных изменений.

Определенное влияние на нормативные показатели и коэффициенты полного водоотведения должен оказывать, согласно формуле (8), КПД оросительной системы η_{OB} . Для выявления степени этого влияния для двух областей Украины были рассчитаны значения коэффициента полного водоотведения для η_{OB} в диапазоне от 0,1 до 0,9. При $0,1 < \eta_{OB} \leq 0,9$ α ^{оп} изменяется от 0,68-0,86 до 0,14-0,24. При значениях η_{OB} , близких к 0,7, водность оросительного сезона практически не оказывается на величине коэффициента полного водоотведения, так как в этом случае $\eta_c \approx \eta_n = 0,85$.

Для условий Дагестана нормативные показатели и коэффициенты полного водоотведения несколько больше, чем для Украины, что обусловлено меньшим КПД оросительной системы.

Сравнительный анализ фактического и нормативного водоотведения показывает, что в зоне СКК фактическое водоотведение больше нормативного по абсолютной величине в среднем в 1,6 раза. Фактический коэффициент водоотведения превышает нормативный в 1,2 раза. Обусловлено это в основном избыточным (в среднем на 37%) суммарным водопоступлением. В среднем по зоне нормативный коэффициент водоотведения составляет 0,29, а фактический на год обеспеченностью 50% равен 0,27.

В зоне ГКУК фактическое суммарное водопоступление только на 6% меньше нормативного, на 15% меньше нормативного фактический показатель водоотведения, на 7% - коэффициент водоотведения. В этой зоне, в отличие от первой, фактическое водоотведение меньше нормативного вследствие недостаточной дренированности территории оросительных систем Каховского и Генического районов.

Таким образом на оросительных системах Украины фактические

показатели и коэффициенты водоотведения близки к нормативным. Превышение нормативных показателей фактическими обусловлено избыточным водозабором на орошение.

Региональные изменения фактических значений показателей и коэффициентов водоотведения незначительные. Водоотведение на однотипных полях Саратовской, Херсонской и Запорожской областей примерно одинаковое: 0,07-0,13 против 0,04-0,15. В Ставропольском крае и Грузии коэффициент водоотведения при поливе ДДА-100МА равен 0,27-0,28, на Украине 0,24-0,30. На оросительных системах в Ростовской области и на Северном Кавказе отводится 12-23% суммарного водопоступления, в зоне ГКМК и СКК - от 6 до 30%.

Современные концепции совершенных оросительных систем предусматривают регулирование водоподачи и водоотведения с помощью специальных емкостей. Нормы водоотведения позволяют оценить требуемый объем регулирования стока воды с оросительных систем в зависимости от суммарного водопоступления, а следовательно от рекомендуемых в проект индивидуальных и групповых норм водопотребности, технического уровня и прогнозного технического состояния оросительных систем, технологии управления водопользованием.

Вычислить объем воды ($\bar{V}_{от}$), который придется отводить за пределы проектируемой оросительной системы или аккумулировать в ее пределах, можно по следующей методике.

Задаваясь проектными величинами групповой нормы водопотребности-нетто, КПД оросительной сети и орошаемого поля, по формуле (7) рассчитывается $\bar{B}_{от}$. На плане оросительной системы проводятся границы орошаемых контуров, удаленные от краев орошаемых массивов на 0,8-1,0 км, и измеряется площадь в пределах этих контуров ($F_{ок}$, тыс.га). Тогда

$$\bar{V}_{от} = 10^{-2} \cdot \bar{B}_{от} \cdot F_{ок}, \text{ млн. м}^3 \quad (16)$$

Вычислив по формуле (8) $\bar{\alpha}_n$, можно оценить требуемую густоту дренированности (\bar{f} , км/км²) территории для отвода объема воды, характеризующегося

$$\bar{f} = \frac{10^{3,5} \alpha_n}{h}, \quad (17)$$

где h - средняя глубина дренирования, м.

На стадии проектирования может возникнуть задача обоснования экологически допустимой нагрузки на водоприемники естественного происхождения, когда нельзя построить искусственные. Существует два способа решения этой задачи: первый - уменьшить водозабор на оросительные системы на величину, которую можно оценить по формуле (7); второй - оптимизировать размеры орошаемых земель, а следовательно и орошаемого контура по формуле

$$\bar{F}_{ок} = \frac{\bar{V}_{отн}}{10^{-2} \cdot \bar{\alpha}_n \left(\frac{M}{\eta_{об}} + \chi_0 \right)}. \quad (18)$$

Установленные закономерности формирования водоотведения могут быть использованы и при эксплуатации действующих оросительных систем. С учетом того, что $\alpha_n = 1 - \eta_0$, формулу (10) можно использовать для контроля водопользования по фактическому значению η_0 . Водопользование можно считать удовлетворительным, если $\bar{\eta}_{об} \leq \eta_0 \leq 1,0$.

ВЫВОДЫ

I. Следует различать полное водоотведение, суммирующее все виды потерь оросительных и дождевых вод за вычетом величины аккумуляции влаги в корнеобитаемом слое почвогрунтов, и фактическое водоотведение, проявляющееся в виде стока воды в коллекторно-сбросных каналах и естественных водотоках за пределы орошаемого контура. Нормированию

подлежит полное водоотведение, так как оно характеризует потенциальное количество воды, которое надо будет отводить при эксплуатации оросительных систем.

2. Генетически водоотведение складывается из поверхностного стока оросительных (10-37%), дождевых и талых (6-20%) вод, а также коллекторно-дренажного стока (28-50%) и стока воды, образующегося в результате дренирования грунтовых вод естественной гидравлической сетью (15-34%).

3. Водоотведение за пределы оросительных систем имеет тесную (корреляционное отношение равно 0,9) связь с суммарным водопоступлением, аппроксимируемую уравнениями второго порядка. Чем больше суммарное водопоступление, тем больше водоотведение по абсолютной величине. Коэффициент водоотведения изменяется в пределах от 0,06 до 0,30.

4. Коэффициент водоотведения связан с коэффициентом полезного использования водных ресурсов (КИВР). Минимальное значение коэффициента водоотведения имеет место при максимальном значении КИВР, для чего интенсивность суммарного водопоступления должна быть предельно близкой к интенсивности суммарного испарения с поверхности орошаемого контура.

5. Водоотведение на орошаемых полях формируется в основном за счет фильтрационных сбросов и только при суммарном водопоступлении более 85-90% величины суммарного испарения. При меньшем суммарном водопоступлении водоотведение практически отсутствует или носит кратковременный локальный характер при выпадении дождей после поливов. При оптимальном увлажнении полей водоотведение является неизбежным фактором и его следует учитывать при проектировании и эксплуатации оросительных систем. Водоотведение возрастает с увеличением суммарного водопоступления по зависимости, близкой к линейной, с интенсивностью 0,24-0,53 мм/сут на каждые 1 мм/сут водопоступления.

6. Нормативные показатели водоотведения мало изменяются в их временном ряду в зависимости от обеспеченности групповых норм водопотребности и более существенно – территориально. На величину нормативных коэффициентов водоотведения влияет КИВР оросительной системы, с снижением которого они возрастают. При значениях КИВР, близких к 0,7, водность оросительного сезона практически не сказывается на нормативном коэффициенте водоотведения.

7. Рассчитанные нормативные показатели и коэффициенты водоотведения мало отличаются от фактических. Последние для оросительных систем Украины близки к таковым в Саратовской и Ростовской областях, Северном Кавказе, Ставропольском Крае, Грузии. Разница существенна только для показателей водоотведения, и вызвана она различием в водопоступлении на оросительные системы, расположенные в выше названных регионах.

По теме диссертации опубликованы следующие работы.

1. "Оценка технического состояния оросительных систем для эколого-мелиоративного мониторинга" / Тезисы докладов международной конференции "Оросительные мелиорации – их развитие, эффективность и проблемы. – Херсон, 1993. – 125 с. (в соавторстве).

2. "Нормирование водоотведения с орошаемых земель" // Гидротехника и мелиорация в Украине. – Киев, ИГиМ, – Вып.3, 1994. – С.66-73 /на укр. языке/ (в соавторстве).

3. "Метод оценки состояния оросительных систем в элементах водопользования" // Мелиорация и водное хозяйство. – 1994. – Вып.80. – С. / на укр. языке / (в соавторстве).

Анутаев

Подписано к печати 17.03.94. Формат 60x84 1/16. Бумага тип. Offsetная печать.
Усл. печ. л. 1,4. Тираж 120 экз. Зал. 277к.

ППП ГКНТ, 252171 Киев 171, ул. Горького, 180.

AB 29.737

AB 29.737