

## 16 - ВЗАИМОСВЯЗЬ МЕЖДУ ОРОШЕНИЕМ И ДРЕНАЖЕМ

В.А. Духовный<sup>1</sup>, Х.И. Якубов<sup>1</sup>, П.Д. Умаров<sup>1</sup>

**Реферат:** Орошение немислимо без дренажа – естественного или искусственного – для создания условий по поддержанию необходимого водно-солевого режима почв. В аридной зоне соотношение дренажа и орошения обеспечивает предотвращение соленакопления в корневой зоне для поддержания надлежащих влажностных условий почвы, определяет возможность минимальных расходов воды на единицу продукции и площади, а также создает возвратный сток в реки, с минимальным воздействием на качество воды. Но одновременно сочетание дренажа и орошения создает неравномерность (гетерогенность) воздействия на возделываемые площади и может привести к значительным отклонениям от расчетных параметров водопотребления и параметров дренажного стока. Все эти аспекты обсуждаются в данной статье.

**Ключевые слова:** дренаж, орошение, мелиорация земель, водно-солевые режимы, физические свойства почвы, грунтовые воды.

### Введение

В процессе образования земной коры в геоморфологическо-литологической структуре сформировались строго определенные режимы водно-солевого обмена. Их интенсивность определяется природно-климатическими условиями (например, влагообеспеченность и испарение) и геоморфологическими особенностями, формируя индивидуальный природный комплекс, характеризующийся степенью естественной дренированности территории с определенным поверхностным и подземным стоком.

Орошение сельхозкультур при существующих способах полива закономерно вызывает потери воды на всех звеньях ирригационной сети и на полях, что приводит к изменению естественных режимов и уровня грунтовых вод и процессов соленакопления в почве. В зависимости от мощности естественного оттока подземных вод, а также интенсивности испарения воды, эти изменения могут привести (или нет) к созданию определенных типов и мощностей дренажа и других мероприятий для предотвращения неблагоприятного влияния развития орошаемого земледелия.

В Центральной Азии по природно-климатическим признакам выделяются две крупные ландшафтно-экологические зоны:

- подгорные равнины, включая

- речные террасы рек верхнего (частично среднего) течения, подгорные равнины, хорошо дренированные в естественных условиях
- волнистая предгорная равнина с интенсивной дренированностью

---

<sup>1</sup> Межгосударственная Координационная Водохозяйственная Комиссия Центральной Азии – Научно-Информационный Центр (НИЦ МКВК), Узбекистан, 700187, г. Ташкент, м-в Карасу-4, дом 11; dukh@icwc-aral.uz

- конуса выноса, верхняя часть которого хорошо дренирована, а нижняя не имеет оттока грунтовых вод;
- пустынные низменности
- речные террасы (средние и нижние), слабодренированные в естественных условиях
  - аллювиальные равнины, замкнутые котловины, не имеющие оттока грунтовых вод за пределы
  - дельты приморские, бессточные
  - дельты сухих, мелких и средних рек, имеющие подземные стоки за их пределы.

По гидрогеолого-почвенно-мелиоративным условиям геоморфологические структуры подгорных равнин, за исключением последней гидрогеологической зоны, относятся к разряду интенсивно дренированных территорий с глубоким залеганием ( $>5,0$  м) слабоминерализованных грунтовых вод (до 1.5-2.0 г/л), а также незасоленными почвогрунтами на большую глубину. В большей части эти районы имеют относительно высокие атмосферные осадки (больше 350-550 мм) и относятся к зонам формирования и транзита подземных вод к нижележащим геоморфологическим структурам. В связи с этим, водно-солевые балансы этих массивов в естественных условиях и при развитии орошаемого земледелия, складываются благоприятно – в них не требуется строительство дренажа, и задача антропогенных мероприятий сводится к обеспечению управления водой в целях минимизации потерь воды на полях и ирригационных системах для предотвращения деградации почв (смыв и эрозия) и дополнительной подпитки нижележащих водоносных горизонтов.

Все районы пустынной зоны и часть конусов-выноса подгорной зоны, включая низкие речные террасы, периферийные части конусов-выноса и крупные депрессии, образованные в аллювиальных равнинах и дельтах рек относятся к слабо- и не дренированным территориям, где в естественных условиях формируются гидроморфные почвы с близкими уровнями высокоминерализованных грунтовых вод (до 3.0 м). Здесь складывается положительный водно-солевой баланс. При этом повсеместно формируется стабильно высокая влажность грунтов зоны аэрации, за исключением верхнего слоя (до 1.0 м), где она подвержена резким изменениям и, особенно, в периоды года, когда отсутствуют осадки. Освоение и орошение таких земель лишь ускоряет и усугубляет формирование положительного водно-солевого баланса, что требует строительства искусственного дренажа.

В зоне пустынной низменности с глубоким залеганием высокоминерализованных грунтовых вод (более 3.0-3,5 м), с большими запасами солей в горизонтах, подверженных изменениям в естественных условиях, складывается отрицательный водно-солевой баланс с рассолением почв на глубину до 1.0-1.5 м. При этом, в зависимости от механического состава и сложения почвогрунтов, формируется изменчивый профиль влажности до уровня грунтовых вод. Обычно, верхний слой до 1.5-2.0 м практически иссушен, а ниже влажность изменяется в широких пределах от 12-14 % до 18-20 %. На таких землях при освоении и орошении складывается положительный водный баланс с солевой по

типу накопления в зоне аэрации. Процесс подъема УГВ сопровождается ростом их минерализации за счет выщелачивания солей, содержащихся в почвогрунтах.

В целом по территории Центральной Азии земли с естественным дренажом, обеспечивающим достаточный отток в условиях орошения, составляют 37.5 %, на остальной территории требуется искусственный дренаж, интенсивность которого определяется параметрами водно-солевых балансов орошаемой территории, зоны аэрации и грунтовых вод.

Под влиянием естественных процессов влагообмена на неорошаемых территориях устанавливается достаточно стабильный водный баланс, определяемый интенсивностью естественного испарения, осадков, оттока в реку, притока с вышележащих территорий и фильтрации в подстилающие напорные пласты, при котором складываются естественные режимы грунтовых вод (Рис. 1). При этом изменчивость уровней и минерализации грунтовых вод обусловлена колебаниями осадков, режимами естественных водотоков, процессами естественного переноса солей и их аккумуляции, а также подтоплением во время паводков или осушением во время засух.

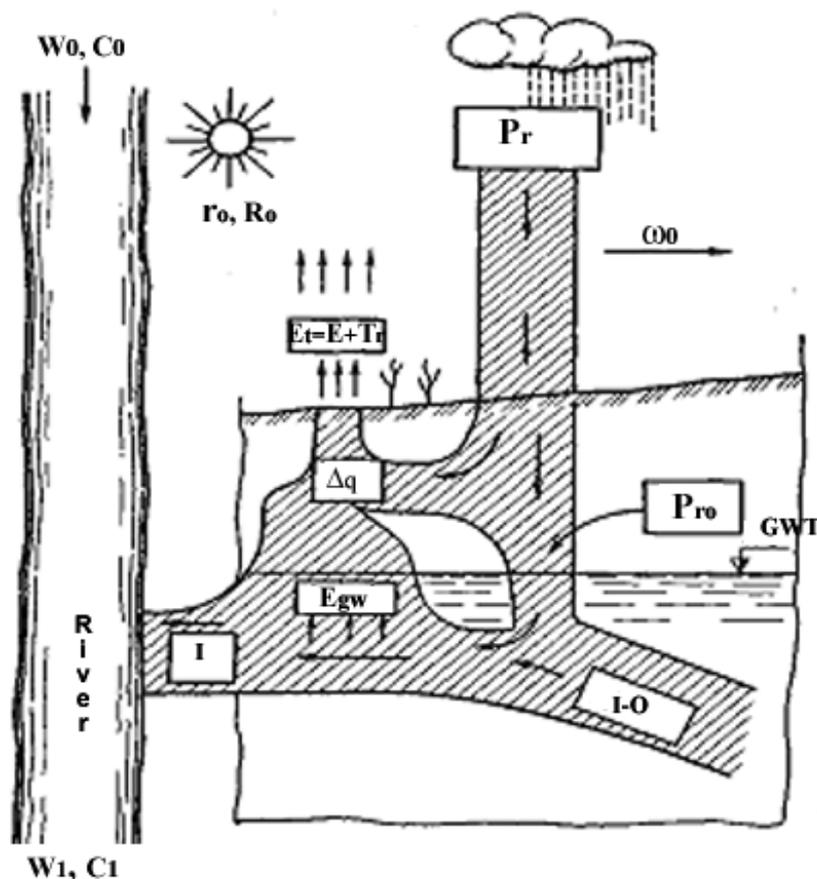


Рис.1. Взаимодействие (динамика) естественных вод при отсутствии орошения ( $P_r$  - атмосферные осадки;  $E_t = E + T_r$  - эвапотранспирация;  $\omega_0, r_0, R_0$  - скорость ветра, относительная среднемесячная влажность и радиационный баланс, соответственно;  $\Delta q$  - вертикальный водообмен;  $P_{ra}$  - просачивание атмосферных осадков;  $E_{gw}$  - испарение с грунтовых вод; GWT - УГВ; I - подземный приток в реку; I - O подземный приток и отток)

Человеческая деятельность, особо водное хозяйство и орошение, вносит значительные коррективы в естественные гидрогеологические процессы, которые проявляются в подъеме или снижении уровней грунтовых вод, увеличении подтопления. Кроме того, здания, коммуникации и другие объекты по-разному влияют на режимы грунтовых вод на их взаимодействие с рекой. Орошение резко изменяет естественный режим и создает динамичные условия переформирования бытовых циклов, которые в последующем стабилизируются при новых скоростях водооборота и интенсивностях влагообмена между поверхностным слоем и более глубокими слоями почвы в зоне аэрации, между зоной аэрации и грунтовыми водами и, наконец, между грунтовыми водами и сбросной сетью, а также реками, озерами и бессточными впадинами (Рис. 2).

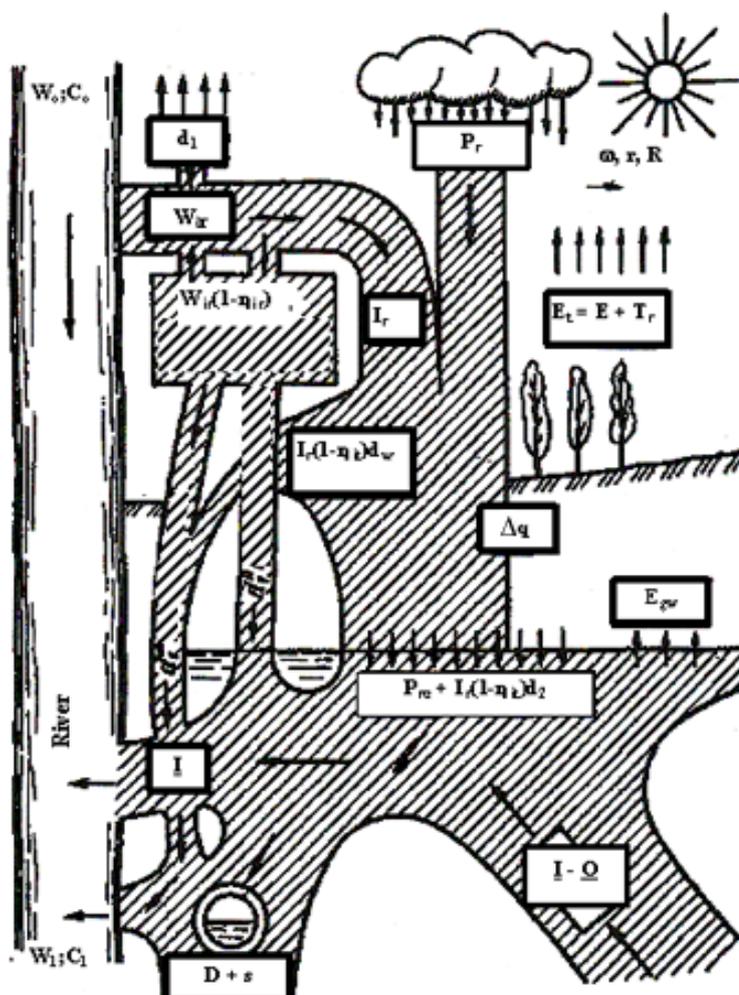


Рис.2. Взаимодействие орошения и дренажа в оросительных системах ( $P_r$  - осадки;  $W_{ir}$  – водозабор из реки;  $W_{ir}(1-\eta_{ir})$  – потери на системе, из них  $d_1$ - потери на испарение с оросительной сети,  $d_1$  – потери на фильтрацию,  $d_1$  – потери на транзит.сброс;  $I_r$  – оросительная вода;  $I_r(1-\eta_{ir})d_w$  – потери в поле,  $E_t = E + T_r$  эвапотранспирация;  $E_{gw}$  – испарение с грунтовых вод;  $\omega, r, R$  - скорость ветра, относительная среднемесячная влажность и радиационный баланс, соответственно;  $\Delta q$  – вертикальный водообмен;  $P_{re} + I_r(1-\eta_{ir})d_2$  – просачивание с орошаемого поля;  $I$  – подземный приток в реки;  $I - O$  подземный приток - отток;  $D + s$  – дренажно-сбросные воды)

Характер элементов водного баланса зоны аэрации и грунтовых вод зависит от КПД оросительной системы, техники полива, засоленности почвогрунтов и

требований на их промывку, фильтрационных свойств, условий взаимосвязи грунтовых вод орошаемого массива с прилегающими водоносными горизонтами. При этом КПД системы, техника полива и промывная норма являются первично управляемыми факторами, а их взаимосвязь с грунтовыми водами – следствием изменения уровня грунтовых вод на массиве, который можно регулировать дренажем.

Различия в прохождении гидрогеолого-мелиоративных процессов определяются, в основном, различиями в геоморфологическом строении ландшафтов, степенью естественной дренированности и величиной притока подземных вод с окружающей территории. Последние зачастую создают первичную напорность грунтовых вод, которая дополняется вторичной, возникающей при наполнении систем и крупных магистральных каналов, которые имеют хорошую гидравлическую связь с подземными водами.

С позиций требований дренажа, опасны зоны, где интенсивность естественного подземного оттока меньше суммарной инфильтрации и притоков к подземным водам или где подземные воды напорные и формируют дополнительный подсос в зону аэрации. С этой точки зрения большое значение имеет работа по оценке величины «притока-оттока» грунтовых вод ( $I - O$ ) и особенно, подземного притока напорных вод для установления потребной мощности искусственного дренажа –  $D_0$ . В таблице 1 приводятся значения подземного притока-оттока по зонам планирования в бассейнах Сырдарьи и Амударьи.

Таблица 1. Уравнения водного баланса.

Условия	Баланс	Уравнения	Номер
В естественных условиях (без орошения)	Общий	$\Delta W = (\bar{I} - \bar{O}) + (I - O) + (P_r - I_f) - E_w - (E + T_r) \pm p$	1
	Зоны аэрации	$\Delta W_a = (\bar{I} - \bar{O}) + (P_r - I_f) - E_w - (E + T_r) \pm q$	2
	Грунтовых вод	$\Delta W = (I - O) \pm q \pm p$	3
При орошении (без дренажа)	Общий	$\Delta W = (\bar{I} - \bar{O}) + (I - O) + (P_r - I_f) + (V_i - w_w) - E_w - (E + T_r) \pm p$	4
	Зоны аэрации	$\Delta W_a = (\bar{I} - \bar{O}) + (P_r - I_f) - E_w - (E + T_r) + (V_i - w_w) + (1 - a)F_c \pm q$	5
	Грунтовых вод	$\Delta W_{gw} = (I - O) + F_c \pm q \pm p$	6
При орошении и дренаже	Общий	$\Delta W = (\bar{I} - \bar{O}) + (I - O) + (P_r - I_f) + (V_i - w_w) - (E + T_r) - E_w - D \pm p$	7
	Зоны аэрации	$\Delta W_a = (\bar{I} - \bar{O}) + (P_r - I_f) - E_w - (E + T_r) + (V_i - w_w) + (1 - a)F_c \pm q$	5 вт.
	Грунтовых вод	$\Delta W_{gw} = (I - O) + aF_c \pm q \pm p$	8

$\Delta W$ : суммарное изменение запасов воды в границах балансового участка за расчетный период;  $\bar{I}$ : приток поверхностных вод;  $\bar{O}$ : отток поверхностных вод за пределы балансового участка;  $I$ : приток грунтовых вод;  $O$ : отток грунтовых вод;  $P_r$ : атмосферные осадки;  $I_f$ : поверхностный сток;  $E_w$ : испарение поверхностных вод;  $(E + T_r)$ : испарение и транспирация из почвы;  $\pm p$ : вертикальный водообмен балансового слоя с глубокими подземными водами (знак «+» -

восходящее напорное питание, знак «-» - нисходящий поток грунтовых вод);  $\Delta W_a$ : изменение запасов влаги в зоне аэрации в границах балансового участка за расчетный период;  $\pm q$ : вертикальный водообмен между почвенными и грунтовыми водами;  $\Delta W_{gw}$ : изменение запасов грунтовых вод в пределах балансового участка за расчетный период;  $V_i$ : водоподача оросительной воды;  $w_w$ : сброс с поверхности полей;  $F_c$ : фильтрационные потери из каналов;  $a$ : коэффициент, выражающий долю от фильтрации из каналов, идущую на питание грунтовых вод;  $(1-a)$ : коэффициент, выражающий долю от фильтрации из каналов, идущую на пополнение запасов в зоне аэрации;  $D$ : дренажный сток.

Характерно, что подгорные и межгорные долины, где расположен и наш объект исследования, характеризуются большими величинами разницы в притоке-оттоке (Ферганская область – около 5000 м<sup>3</sup>/га), большая часть которого приходится на осенне-зимний период. Величина ежегодного напорного питания составляет для непосредственно нашего участка 2500 м<sup>3</sup>/га, что также подтверждается по модели RZQWM (Стулина и др., 2005), где эта величина составляет 248 мм в год. Этим объясняется тот факт, что зачастую объем дренажного стока (как сумма антропогенного и естественного притока-оттока) превышает объем водоподачи.

### **Водно-солевые балансы орошаемой территории, зоны аэрации и грунтовых вод**

Для характеристики процессов взаимодействия орошения и дренажа очень важно составление наряду с общим балансом воды и солей орошаемой территории также составление балансов зоны аэрации и грунтовых вод. Объем и параметры искусственного дренажа определяются анализом водно-солевых балансов на современном уровне и их изменением на перспективу прогнозным расчетом.

Водно-солевые балансы отражают разность между суммарным поступлением и расходом воды и солей, равную изменению их запасов в пределах балансового участка за определенный период времени. В зависимости от поставленных задач могут быть рассмотрены балансы орошаемых массивов, отдельных хозяйств и участков. В каждом конкретном случае определяются пространственные границы балансового участка, расчетный период времени и источники поступления воды. Балансовыми расчетами устанавливается направленность изменения эколого-мелиоративных процессов при развитии орошаемого земледелия (изменение влаго- и солезапасов), интенсивность подпитки – переноса воды из зоны аэрации в грунтовые воды, скорости подъема грунтовых вод и динамика их минерализации и необходимые мероприятия по управлению ими.

Взаимосвязь между почвенными, поверхностными и грунтовыми водами объясняется через балансовые уравнения, приведенные в Таблицах 1 и 2.

Если общими водно-солевыми балансами (Таблицы 1 и 2) устанавливается количественное и пространственное изменение водно-солевых запасов и динамика на орошаемых землях, то уравнениями зоны аэрации и грунтовых вод определяется величина водо- и солеобмена между почвенными слоями, грунтовыми и подземными водами. По этим количественным значениям водо-солеобмена дается оценка интенсивности водно-солевых процессов, протекающих на орошаемом поле, и устанавливаются оптимальные оросительные и промывные нормы, при которых обеспечивается необратимый процесс рассоления почвогрунтов зоны аэрации и верхнего слоя грунтовых вод. Для этого необходимо определить оптимальные мелиоративные режимы, при которых на полях создается

минимальный водообмен между корнеобитаемым слоем, зоной аэрации и грунтовыми водами.

Таблица 2. Уравнения солевого баланса

Условия	Баланс	Уравнения	Номер
В естественных условиях (без орошения)	Общий	$\Delta S = (S_{\bar{I}} - S_{\bar{O}}) + (S_{\underline{I}} - S_{\underline{O}}) + S_{\Delta} \pm S_p$	9
	Зоны аэрации	$\Delta S_a = (S_{\bar{I}} - S_{\bar{O}}) + S_{\Delta} \pm S_q$	10
	Грунтовых вод	$S_{gw} = (S_{\bar{I}} - S_{\bar{O}}) + S_p \pm S_q$	11
При орошении (без дренажа)	Общий	$\Delta S = (S_{\bar{I}} - S_{\bar{O}}) + (S_{\underline{I}} - S_{\underline{O}}) + S_a + S_i - S_f \pm S_p$	12
	Зоны аэрации	$\Delta S_a = (S_{\bar{I}} - S_{\bar{O}}) + S_a + S_i + S_f \pm S_q$	13
	Грунтовых вод	$\Delta S_{gp} = (S_{\bar{I}} - S_{\bar{O}}) + S_f \pm S_q + S_p$	14
При орошении и дренаже	Общий	$\Delta S = (S_{\bar{I}} - S_{\bar{O}}) + (S_{\underline{I}} - S_{\underline{O}}) + S_a + S_f - S_w - S_d \pm S_p$	15
	Зоны аэрации	$\Delta S_a = (S_{\bar{I}} - S_{\bar{O}}) + S_a + S_i + S_f \pm S_q$	13 вт.
	Грунтовых вод	$\Delta S_{gw} = (S_{\bar{I}} - S_{\bar{O}}) + S_f \pm S_d \pm S_q \pm S_p$	16

$\Delta S$ : суммарное изменение запасов солей в границах балансового участка за расчетный период;  $S_{\bar{I}}$ : поступление солей с поверхностными водами;  $S_{\bar{O}}$ : вынос солей поверхностными водами за пределы балансового участка;  $S_{\underline{I}}$ : поступление солей с притоком грунтовых вод;  $S_{\underline{O}}$ : вынос солей с оттоком грунтовых вод;  $S_a$ : поступление солей с атмосферными осадками;  $\pm S_p$ : поступление или вынос солей при вертикальном водообмене с глубокими горизонтами подземных вод;  $\Delta S_a$ : изменение запасов солей в зоне аэрации;  $\pm S_q$ : поступление или вынос солей при вертикальном водообмене между почвенными и грунтовыми водами;  $\Delta S_{gw}$ : изменение запасов солей в горизонте грунтовых вод;  $S_i$ : поступление солей с оросительными водами;  $S_f$ : поступление солей с фильтрационными потерями из каналов;  $S_d$ : вынос солей с дренажным стоком.

## Мелиоративный режим и его связь с водопотреблением и дренажем

Под мелиоративными режимами в советской мелиоративной науке (Решеткина, 1965) подразумевается такое сочетание искусственного и естественного дренажа, водоподдачи и агротехники, которое определяет взаимодействие оросительных и грунтовых вод и влияет на величину суммарного испарения с орошаемых полей, а стало быть, и водоподдачу.

Мелиоративные режимы устанавливаются путем подбора и поддержания уровня грунтовых вод с учетом их минерализации и соответствующих оросительных норм путем комплекса гидротехнических, агротехнических мероприятий. Классификация этих режимов дана Духовным В.А. (1983), Якубовым Х.И. и Икрамовым Р.К. (1983). Главным критерием является система подпитки грунтовых вод и зоны аэрации.

При этом мелиоративные режимы (Таблица 3) должны соответствовать природным условиям территории, где развивается орошаемое земледелие. В принципе на орошаемых массивах могут быть созданы все четыре типа

мелиоративных режимов. Однако для их создания требуются различные водно-экономические параметры.

Таблица 3. Основные характеристики мелиоративных режимов

Мелиоративный режим	Характер взаимодействия с грунтовыми водами	Питание из грунтовых вод и мелиоративная доля, 1000 м <sup>3</sup> /га	Испарение из грунтовых вод, 1000 м <sup>3</sup> /га
Автоморфный	Грунтовые воды не участвуют в орошении, инфильтрация идет свободно вниз	$-P < 0.05 - 0.1(E + T_r - P_r)$ ; $M = 0$	0
Полу-автоморфный	Грунтовые воды подпирают инфильтрацию оросительной воды, но сами незначительно участвуют в питании растений	$+P < 0.1 - 0.2(E + T_r - P_r)$ ; $M = 0.5 - 1.0$	0-1.5
Полу-гидроморфный	Грунтовые воды активно участвуют в питании растений, преобладая над долей оросительной воды	$+P > 0.3(E + T_r - P_r)$ ; $M \geq 2.0$	1.5-3
Гидроморфный	Питание растений в основном происходит за счет грунтовых вод	$+P > (E + T_r - P_r)$ ; $M \geq 5.0$	3-7

P: суммарная инфильтрация; E+T<sub>r</sub>: эвапотранспирация; M: промывная доля; P<sub>r</sub>: атм.осадки.

Для обоснования необходимости создания того или иного мелиоративного режима требуется выполнить многовариантные прогнозные и технико-экономические расчеты по установлению оптимальных глубин грунтовых вод, а также состава и параметров мелиоративных мероприятий, при которых обеспечиваются благоприятные условия для получения высоких урожаев сельскохозяйственных культур.

Для регулирования мелиоративного режима почв и его выбора необходимо установить причинно-следственные связи между средой (вода, воздух, содержание солей и питательных веществ в корнеобитаемой зоне), управляющими факторами (водоподача, дренаж, агротехнические приемы и др.) и показателями их взаимодействия (рост и развитие возделываемой культуры). Вместе с тем существует вполне определенные водно-солевые режимы корнеобитаемой зоны, соответствующие биологическим требованиям развития данной сельскохозяйственной культуры (эталон). Поэтому главная задача заключается в таком регулировании поступления влаги и солей от различных источников, чтобы выбранный водно-солевой режим корнеобитаемой зоны поддерживался с помощью оптимальных средств (орошение, дренаж и др.). Такая задача может быть решена путем анализа формирования и расходования отдельных статей водно-солевого баланса. Балансовый метод обоснования мелиоративных режимов позволяет учесть техническое состояние оросительных и дренажных систем, организацию землепользования, а также рассмотреть статьи формирования водно-солевого режима на орошаемом поле.

За критерий оптимизации выбора параметров мелиоративных режимов приняты рекомендации (Духовный, 1983), при которых выбирается вариант, обеспечивающий минимум приведенных затрат при суммарном минимальном расходе воды (орошение + дренаж) на единицу продукции сельскохозяйственной культуры. Результаты обобщенной оценки оптимальных параметров режима для усредненных условий Центральной Азии представлены на Рис.3

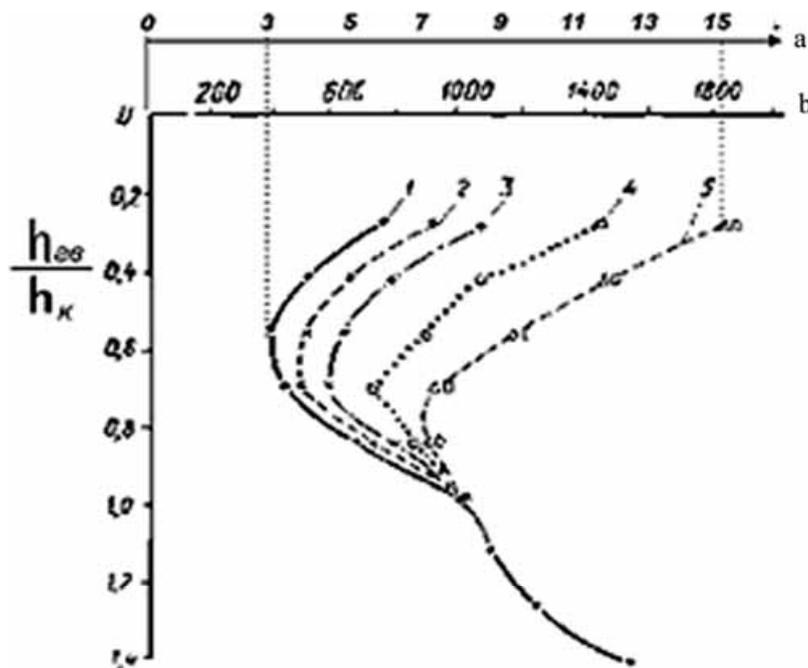


Рис. 3. Оптимизация мелиоративного режима по сумме приведенных затрат учетом воды и урожая: 1 – С= 1 г/л; 2 – С=2 г/л; 3 – 3 г/л; 5 – 15 г/л.

(а: водоподача,  $10^3 \text{ м}^3/\text{га}$ ; С: общая минерализация грунтовых вод, г/л;  $h_{гв}$ : уровень грунтовых вод, м;  $h_к$ : высота капиллярного подъема, м; 1, 2, ..., 5: кривые капитальных вложений в зависимости от  $h_{гв}/h_к$  и минерализации грунтовых вод (С. г/л); б: чистые капвложения, \$/га)

Здесь учитываются капитальные вложения для обеспечения данных параметров, в зависимости от минерализации грунтовых вод и относительно параметра, представляющего отношение уровня грунтовых вод  $h_{гв}$  к величине капиллярного подъема ( $h_к$ ) (Духовный, 1983). Как видно, наиболее выгодным режимом является полугидроморфный при соотношении уровня грунтовых вод к величине капиллярного порога 0.6, что соответствует в условиях Ферганской долины глубине залегания грунтовых вод 1.0-2.0 м при их минерализации 1...2 г/л или 2.2 м при минерализации до 5 г/л. При этом, с ростом минерализации грунтовых вод до 10...15 г/л, необходимо переходить на полуавтоморфный режим с данным соотношением более 0.8 и уровнем грунтовых вод достигающим 2.5 м. В то же время при освоении новых земель с глубоким залеганием УГВ больше 3.5-4.0 м и опресненным почвенным слоем в естественных условиях выгодным является – автоморфный режим, создаваемый путем предотвращения их подъема и вторичного засоления с применением вертикального дренажа, если позволяют природно-гидрогеологические условия.

Для хозяйства «Азизбек-1» существующая мощность дренажа, с чистым дренажным стоком 3400-3700  $\text{м}^3/\text{га}$  в год, обеспечивает достаточно быстрое

снижение уровня грунтовых вод при поливе со средней скоростью 5-7 см/день, что гарантирует поддержание уровня грунтовых вод на глубине 1.7-2.2 м в вегетационный период и 2.2-2.57 м в среднегодовом разрезе. Однако, учитывая гетерогенность работы дренажа в сочетании с подачей воды/орошением на отдельное поле в хозяйстве, пространственное поддержание уровней грунтовых вод представляет непростую задачу.

### **Пространственное сочетание интенсивности дренажа и орошения**

Горизонтальный дренаж создает неравномерность уровней грунтовых вод на междреньях, определяемую положением кривой депрессии между дренами в одном измерении и между коллекторами (или коллекторами и дренами) в другом. При этом формируется бугор грунтовых вод, размеры в отметках которого между серединой междренья и над дренами составляет более 1.0 метра. Естественно, что это определяет необходимость увеличения поливных и оросительных норм вблизи дрен и коллекторов и уменьшения в приближении к бугру грунтовых вод. Поверхностный полив благодаря неравномерности инфильтрации вдоль головы борозды еще усиливает эту неравномерность, создавая повышенное увлажнение в голове борозды и пониженное в конце (Хорст и др., 2005). Это явление описано и исследовано (Духовный, 1984) и может быть определенным образом учтено при расположении поливных борозд относительно междренья.

В рамках проекта в фермерском хозяйстве «Азизбек-1», расположенном в Ферганской области Республики Узбекистан на площади 160 га, была сделана попытка оценить влияние еще одного фактора гетерогенности. Периодичность поливов полей в 15-20 суток создает неравномерную нагрузку на дренаж и растекание бугра фильтрационных вод (бугровидное возвышение зеркала грунтовых вод, создаваемое под влиянием инфильтрации) на ту часть площади, где полив не проводится.

Уровни и режим грунтовых вод на участке стабилизировались в определенном диапазоне в зависимости от режима работы оросительных и дренажных систем. Глубокое залегание уровня грунтовых вод приходится на зимне-весенние периоды (декабрь, январь и февраль месяцы –  $h=2.25-2.50$  м в 2001 г. и  $h=1.75-2.0$  м в 2002 г.), когда ирригационная система либо не работает, либо проводится только полив озимой пшеницы. Начиная с февраля, идет медленный подъем грунтовых вод, связанный с проведением промывок и влагозарядковых поливов под посев хлопчатника и других сельхозкультур. В вегетационный период (апрель-сентябрь) среднемесячный уровень грунтовых вод колебался от 2.04 до 1.56 м в 2001 году, а в 2002 году от 1.65 до 1.75 м.

Минимальные и максимальные УГВ на полях под посевами хлопчатника и пшеницы объясняются их расположением относительно дрен и Среднетепинского коллектора: на картах расположенных вблизи дрен, уровень на 0.25-0.4 ниже, чем в междреньях.

Бороздковые поливы сельхозкультур сильно влияют на изменение режима грунтовых вод, поднимая их уровень на следующий день после его начала, а иногда в тот же день. При этом величина подъема УГВ после полива изменяется в зависимости от нормы полива от 0.79 до 0.89 м.

Время подъема УГВ на хлопковом поле №13, расположенном вблизи дрены УД-2 изменяется от 2 до 5 дней, а спада до исходной величины - от 5 до 11 дней, т.е. скорость сработки в 2 раза меньше, чем скорость подъема. На полях, расположенных в середине междренья, время запаздывания сработки еще больше, т.е. процесс сработки протекает медленнее. Интенсивность неравномерности и ее сглаживание зависит от нормы и частоты поливов, а также от расположения полей относительно дрен. На картах вблизи дрен она больше, чем в междреньях, как это проявляется на картах К-5 и К-13, которые находятся под влиянием дрены УД-3.

Неравномерность уровня грунтовых вод и влагозапасов после полива больше всего проявляется на хлопковых полях, нежели, чем на зерновых, что связано с различными нормами и сроками проведения поливов. Поливные нормы хлопчатника в среднем на 15-20 % больше, чем зерновых и колеблются в пределах 1100-1470 м<sup>3</sup>/га (в 2002 году более 2000 м<sup>3</sup>/га). Из 9 полей зерновых за 2002 г. только поля № 1 и № 11 засеяны повторной культурой – кукурузой на силос. В целом в междреньях наблюдается достаточно сложная картина взаимодействия инфильтрующихся оросительных вод с подземным притоком и работой дренажа. На Рисунках 4 и 5 показано, что эта динамика определяется степенью покрытия поливами всего междренья и продолжительностью полива.

Колебания объема, заключенного в «бугре» грунтовых вод и уровня грунтовых вод принимает максимальное значение в июле-августе, когда поливы нарастают постоянно и доля «покрытия» ими междренья (IAC<sup>2</sup>) увеличивается от 0.25 до 0.45 в среднем, достигая максимума в начале августа – 0.8 и затем в октябре снижается до 0.4, но с длительностью более полумесяца. Поскольку основной причиной резкого подъема УГВ является инфильтрационное питание, формируемое в период проведения промывок и вегетационных поливов, то мерами снижения неравномерности влагозапасов в почвогрунте должно быть управление глубинной инфильтрацией на полях, что достигается правильными подбором элементов техники полива и, главным образом, контролем поливных норм.

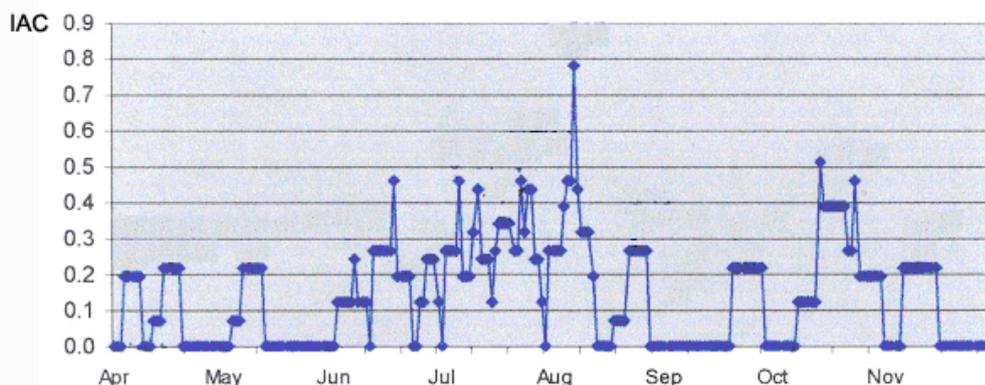


Рис. 4. Суточная динамика коэффициента «покрытия» орошаемой площади поливами (IAC) для участка дренируемого дренажом - УД-3 (2001)

<sup>2</sup> IAC - коэффициент «покрытия», в разрезе суток, орошаемой площади поливами.

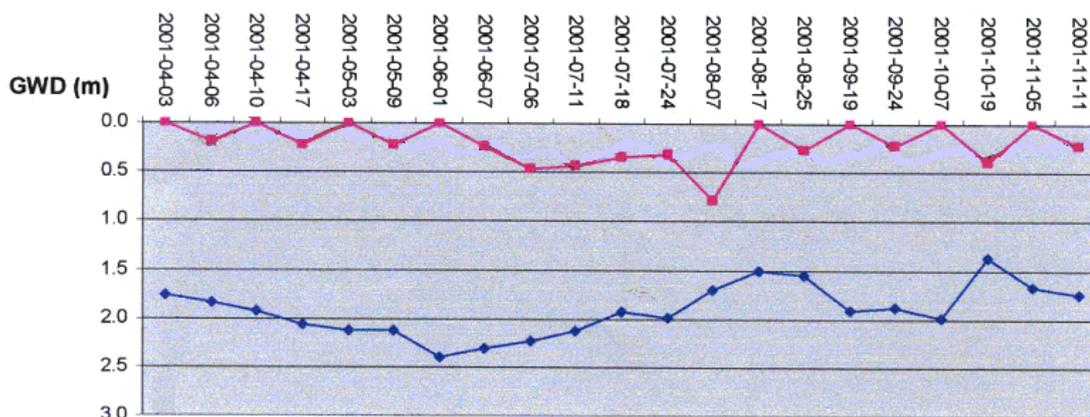


Рис. 5. Динамика глубины залегания грунтовых вод (GWD) и коэффициента «покрытия» орошаемой площади поливами (IAC) для участка дренируемого дренажем - УД-3 (2001)

Однако при существующих в Центральной Азии способах орошения и техники полива подобного оптимального контроля достичь практически невозможно. «Бугор» грунтовых вод образуется во время поливов в течение вегетационного периода. Этот медленный подъем грунтовых вод определяется долей инфильтрационного питания, которая не была сработана. Чем больше площадь, «покрытая» поливом, тем выше уровень грунтовых вод вследствие несработанной дренажем доли инфильтрации.

Растекание бугра грунтовых вод происходит под влиянием взаимодействия интенсивности полива, мощности дренажа и оттока за пределы поливных участков. При этом сработка доли объема, заключенного в «бугре» грунтовых вод, создает дополнительную нагрузку на дренаж, так как мощность дренажа рассчитывается, исходя из отвода им среднегодового инфильтрационного питания. В связи с этим, для управления инфильтрационным питанием с учетом «бугра», образуемого после каждого полива необходимо выяснить расходование поданной поливной нормы на суммарное испарение, на капиллярный сброс в грунтовые воды, ее сработку дренажем и отток в сторону неполиваемых в данный момент участков (растекание «бугра»).

Подобное расчленение поливных норм на вышеперечисленные элементы, входящие в состав водного баланса зоны аэрации (Табл.4), показывает, что:

- суммарное испарение составляет от 34 до 39 % от нормы полива;
- увеличение запасов влаги корнеобитаемого слоя составляет от 36 до 46 %;
- капиллярный сброс в грунтовые воды и растекание «бугра» грунтовых вод - от 9 до 25 %;
- от 2-4 до 12 % срабатывается дренажем, как дополнительная нагрузка, сверх мощности дренажа.

На основе проведенных наблюдений получена зависимость дренажного модуля от степени одновременности полива в междреньях (Рис.4, 5). Одновременное орошение на более чем 50 % площади междренья увеличивает кратковременно дренажный модуль вдвое, а когда вода одновременно подается на меньше чем 20 % площади уменьшает модуль на 30...40 % от расчетного. Этот анализ показывает, что формирование «бугра» грунтовых вод оказывает небольшое влияние на объем дренажного стока, но кратковременно дренажный модуль может

вдвое превысить рассчитанную по средним показателям величину. Это особенно проявляется в процессе промывок, что должно учитываться при проектировании дренажа и одновременно при определении оптимального режима поливов.

Таблица 4. Результаты расчета расходования воды, поданной на поле

Номер полива	УГВ, м		Расчетные параметры					$W_r$	$W_{kk}$	Водо-отдача $\mu$	Подъем УГВ $h = \frac{W_{kk}}{\mu \cdot 10^3}$
	до полива	после полива	Изм.	ET+ $\Delta$ ET	Q+ $\Delta$ q	$H_{fsd}$					
1.	1	2.55	1.82	0.73	492	52	1.15	518	349	0.048	
2-7.06	2	2.48	1.8	0.68	(35%)	(4%)	1.08	(36%)	(25%)	0.05	
m=1411	3	2.54	1.7	0.89			1.19				
(100%)				0.77			1.14			0.05	0.70
2.	1	2.59	1.89	0.7	430	28	1.19	658	311	0.044	
23-30.06	2	2.5	1.78	0.73	(30%)	(2%)	1.10	(46%)	(22%)	0.043	
m=1427	3	2.48	2.07	0.41			1.08			0.076	
(100%)				0.61			1.12			0.054	0.60
4.	1	2.17	1.95	0.22	455.4	132.6	0.77	470	106	0.048	
25-29.07	2	2.15	1.94	0.21	(39%)	(12%)	0.75	(40%)	(9%)	0.050	
m=1164	3	2.11	1.88	0.23			0.71			0.046	
(100%)				0.22						0.048	0.22
5.	1	2.16	1.84	0.32	376	106	0.76	430	210	0.06	
7-11.08	2	2.12	1.81	0.32	(34%)	(9%)	0.72	(38%)	(19%)	0.068	
m=1122	3	2.11	1.65	0.46			0.71			0.046	
(100%)				0.36						0.06	0.35

Примечание: Расчеты для 3го полива на приводятся.

1., 2., 4., 5.: номер полива; следующая строка после номера полива: срок полива (ДД/ММ); m: поливная норма, м<sup>3</sup>/га; 100%: % от поливной нормы; ET: среднедекадное суммарное испарение, мм;  $\Delta$ ET: превышение суммарного испарения в дни проведения полива над его среднедекадной величиной, м<sup>3</sup>/га; Q: среднедекадный дренажный модуль за вычетом подземного притока, м<sup>3</sup>/га;  $\Delta$ q: увеличение дренажного модуля за счет капиллярного сброса, м<sup>3</sup>/га;  $H_{fsd}$ : глубина свободной поверхности, т.е. расстояние между УГВ и поверхностью почвы, м;  $W_r$ : пополнение влаги в зоне аэрации до ППВ;  $W_{kk}$ : капиллярный сброс в грунтовые воды;  $\mu$ : доля единицы

## Выводы

При оценка взаимодействия орошения и дренажа, определяемого выбором мелиоративного режима и его параметров, следует учитывать, что как оросительный модуль и его инфильтрационная доля, так и, особенно, соотношение высоты капиллярного поднятия и глубин заложения дрен определяют суммарные затраты воды на орошение и дренаж. Оптимальный мелиоративный режим в связи с этим должен находиться с учетом этих всех параметров и элементов водно-солевого баланса, особо минерализации грунтовых и оросительных вод.

Второй очень важной особенностью сочетания поверхностного полива и различных видов дренажа является неравномерность инфильтрации по орошаемой площади, зависящая как от параметров техники полива (Хорст и др., 2005), интенсивности одновременных поливов в междуренье - коэффициента инфильтрационного питания по площади, так и от формирования «бугра» грунтовых вод под влиянием депрессионных кривых.

Тем не менее, хотя возникновение этих «бугров» и увеличивает потребное значение расчетного дренажного модуля, в то же время создает определенный запас в интенсивности дренажного оттока за счет растекания до 25 % объема фильтрационного «бугра».

## **Библиография**

- Духовный, В.А., 1983. Ирригационные комплексы на новых землях Средней Азии. Ташкент, изд-во «Узбекистан», 184 стр.
- Духовный, В.А., 1984. Водохозяйственный комплекс в зоне орошения, формирование и развитие. Москва, «Колос», 254 стр.
- Духовный, В.А., Баклушин, М.Б., и др., 1979. Горизонтальный дренаж орошаемых земель. Москва: «Колос», 254 стр.
- Horst, M.G., Shamutalov, Sh.S., Pereira, L.S., Gonçalves, J.M., 2005. Field assessment of the water saving potential with furrow irrigation in Fergana, Aral Sea Basin. *Agric. Water Manage.*, 77: p.210-231.
- Решеткина, Н.М., 1965. Мелиоративные режимы. «Гидротехника и мелиорация»..
- Решеткина, Н.М., Якубов, Х.И., 1978. Вертикальный дренаж. Москва, «Колос», 320 стр.
- Стулина, Г.В., Камейра, М.Р., Перейра, Л.С., 2005. Калибровка модели RZWQM и поиск альтернативных решений для совершенствования методов орошения и выращивания сельскохозяйственных культур(в этой книге).
- Якубов, Х.И., Икрамов, Р.К., 1983. К вопросу оптимизации управления мелиоративным режимом почв в аридной зоне. Труды САНИИРИ – Ташкент, Вып.168 , стр.2-17
- Якубов, Х.И., 1990. Мелиорация засоленных земель на фоне вертикального дренажа – Ташкент, «Мехнат», 187 стр.
- Умаров, П.Д., Тучин, А.И., 2003. Элементы моделирования системы дренажа. В материалах Международной научно-практической конференции по экологической устойчивости и передовым подходам к управлению водными ресурсами в бассейне Аральского моря – Алматы.