

---

## Часть 4

---

# ДРЕНАЖ И КОНТРОЛЬ ЗАСОЛЕНИЯ

---

### Глава 15.

## ДРЕНАЖ И КОНТРОЛЬ ЗАСОЛЕНИЯ: ОБЗОР ПРОБЛЕМ В ЦЕНТРАЛЬНОЙ АЗИИ

В.А. Духовный<sup>25</sup>, Х. Якубов<sup>25</sup>, П.Д. Умаров<sup>25</sup>

**Реферат:** Дренаж в аридной и полуаридной зонах, подверженных неблагоприятным эколого-мелиоративным процессам, предназначен для регулирования и управления водно-солевыми балансами орошаемой территории и водно-солевыми режимами почв. Он также применяется для регулирования водного режима подтопленных и переувлажненных земель, формируемых в процессе развития орошаемого земледелия. В статье дается обзор методов и технологий, применяемых в странах Центральной Азии, и приводится анализ наблюдений за работой дренажа, выполненных на экспериментальном участке хозяйства Азизбек в Ферганской области Узбекистана.

**Ключевые слова:** дренаж, мелиоративные процессы, контроль засоления, водно-солевые режимы, Фергана, бассейн Аральского моря.

### Введение

Центральная Азия расположена в пределах бассейна Аральского моря, с его уникальными природно-хозяйственными условиями, характеризующимися бессточностью, естественной глубинной засоленностью почвогрунтов на значительной части территории, аридностью климата и ограниченностью водных ресурсов. Здесь сосредоточен мощный потенциал для

---

<sup>25</sup> Научно-информационный центр МКВК, Узбекистан, г. Ташкент, 700187, м-в Карасу-4, дом 11. dukh@icwc-aral.uz

развития орошаемого земледелия. Указанные факторы вызывают вторичное засоление и переувлажнение (переполив) при орошении, интенсивность их зависит от практики сельхозпроизводства.

Общий земельный фонд бассейна Аральского моря составляет 155 млн. га, из которых около 32,6 млн. га считаются пригодными для развития орошаемого земледелия. Площадь засоленных земель оценивается в 23,922 млн. га или 73,6 % от общей площади, а незасоленных – 8 670,5 тыс.га (26,8 %). При этом сильнозасоленные почвогрунты составляют 7 422,5 тыс. га или 31 % (табл. 1). Из таблицы 1 видно, что незасоленные земли в основном, приходятся на долю Кыргызстана и Таджикистана. Часть этой площади, которая орошается, расположена в пределах зон погружения поверхностных вод, где территория естественно интенсивно дренирована, т.е. в верхних водосборах рек Сырдарьи и Амударьи. Здесь грунтовые воды залегают глубоко и не участвуют в почвообразовательных процессах, поэтому орошаемые земли представлены незасоленными почвогрунтами, за исключением отдельных небольших массивов, расположенных в межгорных и межадырных понижениях.

Таблица 1. Характеристика мелиоративного фонда региона Средней Азии и Южного Казахстана, тыс. га

Республики	Общая площадь	Площадь сельхозугодий***	Мелиоративный фонд							
			Всего	Незасоленные	%	Засоленные	%	В т.ч. сильно засоленные	% от засоленных	Орошаемые всего
Кыргызстан	15994	10057	3021	2267,5	75	753,5	25	63	8,0	1034,2
Таджикистан	9470	4158	1964	1595,5	81,2	368,5	18,8	73,9	19,0	689,7
Туркменистан	32968	30325	12198	1423,2	11,7	10774,8	88,3	4253,5	39,5	1317
Казахстан	63679	27300	4707	700	15	4000	85	1500	37,5	768
Узбекистан	32889	26085	10710	2684,3	25	8025,7	75	1532	19,0	4164,2
ИТОГО	155000	97925	32,600	8670,5	26,8	23922,5	73,6	7422,5	31,0	7973,1

Наиболее неблагоприятными земельными фондами обладают Туркменистан и южные области Казахстана, где соответственно 88 и 85 % земель, пригодных к орошению характеризуются засоленными почвогрунтами, они расположены в пределах зоны рассеивания «В» и выклинивания «Б» грунтовых вод в дельтовых зонах рек Амударьи и Сырдарьи. Эти территории характеризуются попеременно слабодренированными и не дренированными условиями с близким залеганием минерализованных грунтовых вод к поверхности земли (рис. 1). Несколько меньшими засоленными земельными ресурсами, чем Казахстан и Туркменистан обладает Республика Узбекистан, хотя по общей площади засоления она занимает второе место после

Туркменистана. В Узбекистане из общей площади, пригодной к орошению – 10 710 тыс. га, засолению подвержены 8 025,7 тыс. га или 75 % земель. Притом, если в Туркменистане и Казахстане площади сильно засоленных земель составляют 39,5 % и 37,5 % соответственно, то в Узбекистане она равна 19,0 %, что обусловлено, главным образом, геоморфолого-гидрогеологическими условиями (рис. 1).

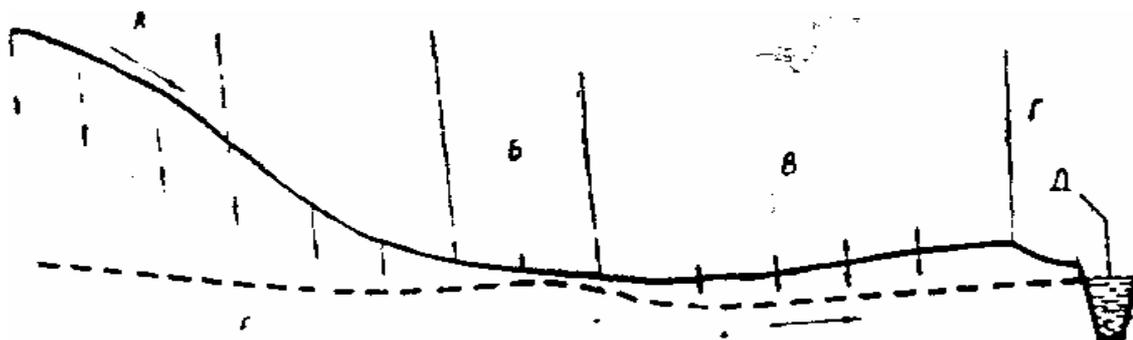


Рис .1. Схема геоморфолого-гидрогеологических зон территории Центральной Азии

Условные обозначения: А - зона погружения поверхностных вод; Б - зона выклинивания грунтовых вод; В – зона рассеивания грунтовых вод; Г - пойма реки; Д – река.

### **Засоление: обзор основных проблем**

Характеристика природного засоления почв в Центральной Азии и закономерности формирования соленакопления в них представляет интерес с точки зрения потенциальной опасности вторичного засоления при орошении, планирования освоения новых земель или определения мелиоративных мероприятий (таких как, назначение режима орошения и техники полива, определение типов и размеров дренажа, промывка засоленных земель и др.), а также установления продолжительности мелиоративного (рассолятельного) периода.

В этом направлении исследованиями САНИИРИ за 1965-1980 гг. установлено, что геоморфологические особенности орошаемой территории Центральной Азии (предгорья, речные межгорные долины, аллювиальные равнины, низкие дельты и высокие речные террасы) в сочетании с условиями формирования режима грунтовых вод, термическими режимами почвогрунтов и балансами поверхностных и подземных вод определяют принципиальные различия исходного солевого запаса и профиля, как почвенного слоя, так и подстилающих грунтов. В покровном мелкоземе установлено шесть характерных типов солевых профилей на глубину 20-30 м от поверх-

ности, которые определяют интенсивность дренажного солевого стока при развитии орошения и мелиорации земель (рис. 2).

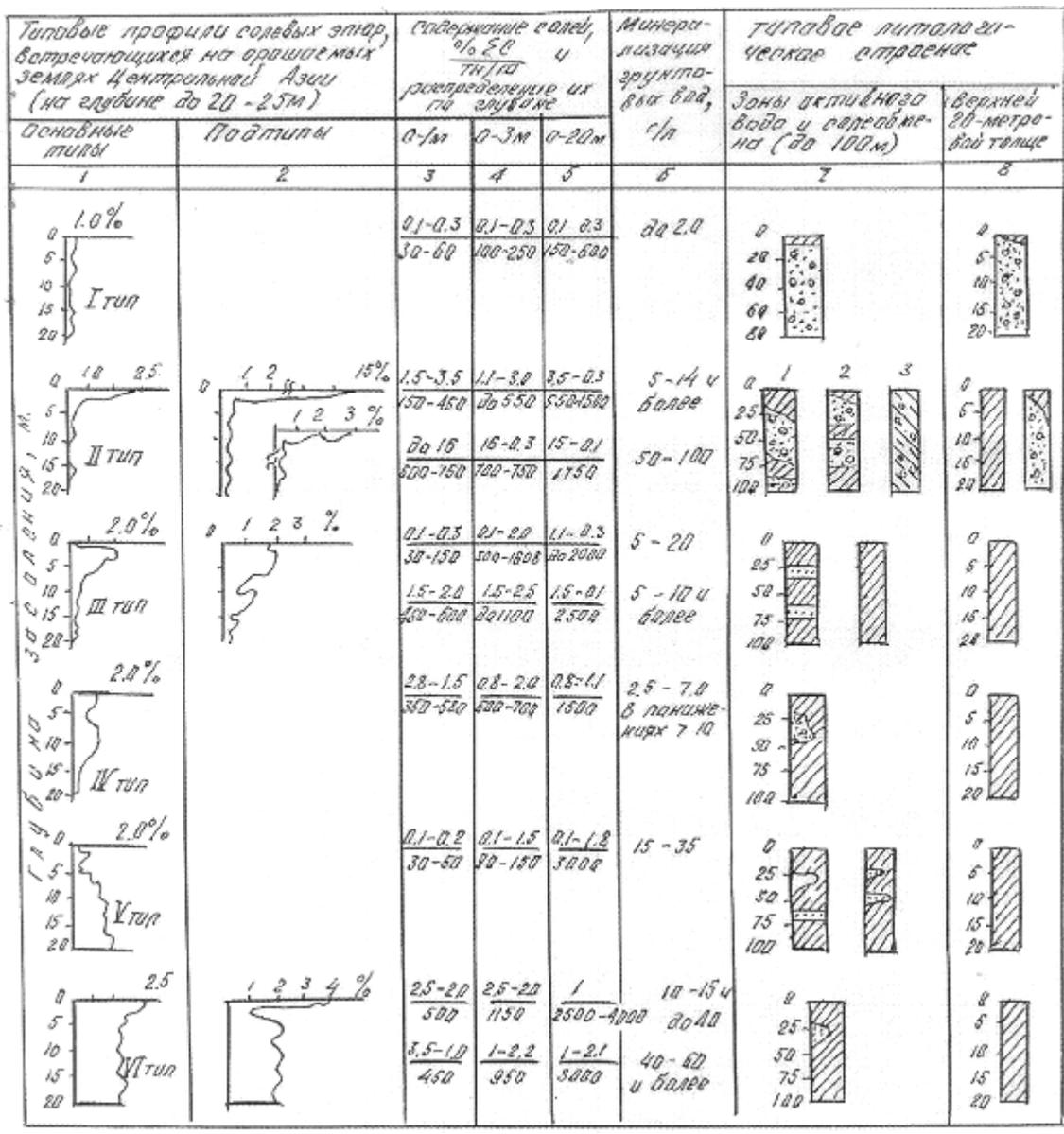


Рис. 2. Типы солевых профилей на орошаемых землях Центральной Азии (В.А. Духовный и др., 2004 г.)

При этом первый тип профиля засоления характерен для естественных интенсивно дренированных земель предгорной равнины, в верхней зоне конусов выноса и для высоких речных террас, а второй тип (II) относится к староорошаемым массивам при близком залегании минерализованных грунтовых вод и районам напорных подземных вод, таких как Ферганская долина Республики Узбекистан, Вахшская долина Республики Таджикистан

и Чуйская долина Республики Кыргызстан. III, IV и V типы профилей засоления присущи регионам аллювиальных, пролювиально-аллювиальных равнин и межгорных котловин до развития орошаемого земледелия, а VI тип профиля – межконусным понижениям и зонам выклинивания грунтовых вод. Указанные закономерности формирования солевых профилей предопределяют интенсивность развития вторичного засоления и требуемый объем рассолительных мероприятий. III, IV, V, VI типы солевых профилей, характеризующиеся огромными запасами солей, и соответственные являются основными источниками дренажного солевого стока в бассейне Аральского моря.

Одновременно, в зависимости от содержания и, главным образом, от химического состава засоления, был установлен порог токсичности для развития сельхозкультур, согласно данным классификации засоления почв (табл. 2).

До начала широкого развития искусственного дренажа (1955-1960 гг.) основные площади орошения Центральной Азии были представлены хлоридно-сульфатным и сульфатным типами засоления. Реже встречались хлоридные и сульфатно-хлоридные типы. Щелочные типы засоления встречаются довольно редко и охватывают небольшие площади на территории Туркменистана и Кыргызстана.

По данным САНИИРИ и других научно-исследовательских институтов, из указанной общей площади орошения более 5,97 млн. га нуждаются в искусственном дренировании. Фактическая общая площадь, обеспеченная коллекторно-дренажной сетью составляет 5,35 млн. га (табл. 3).

### **Дренаж в Центральной Азии**

В Центральной Азии наибольшее применение нашли горизонтальный (открытый и закрытый) и вертикальный дренажи.

Площадь, охваченная горизонтальным дренажем, составляет 4 750 860 га. Регулирующая часть этого типа дренажа в основном представлена закрытым трубчатым дренажем и открытыми коллекторами.

Закрытый горизонтальный дренаж, представляет собой перфорированный трубопровод (керамические, пластмассовые, асбестоцементные или другие трубы, диаметр которых 0,07-0,3 м), уложенный под грунт на глубину 2-4,0 м и окруженный защитно-фильтрующим слоем, преимущественно из естественных песчаных и песчано-гравийных материалов толщиной 0,15-0,18 м. В последнее время применялись искусственные защитно-фильтрующие материалы (синтетические волокна, нетканые, иглопробивные полотна), а также их комбинация с естественными фильтровыми смесями (Духовный и др., 1979 г.).

Таблица 2. Классификация почв по степени и химизму засоления  
(над чертой – сумма солей, под чертой – токсичные соли) (Е.И. Панкова и др., 1996 г.)

Химизм засоления (соотношение ионов, мг-экв/100 г почвы)			
Нейтральное засоление (pH<8.5)			
Степень засоления почв	хлоридный, сульфатно-хлоридный Cl:SO <sub>4</sub> >1	хлоридно-сульфатный Cl:SO <sub>4</sub> =1-0.2	сульфатный Cl:SO <sub>4</sub> <0.2
Порог токсичности (незасоленные почвы)	<u>&lt;0.1</u> <0.05	<u>&lt;0.2</u> <0.1	<u>&lt;0.3(1.0)***</u> <0.15
Слабая	<u>-0.2</u> 0.05-0.12	<u>-0.4(0.6)***</u> 0.1-0.25	<u>0.3(1.0)-0.6(1.2)***</u> 0.15-0.3
Средняя	<u>0.2-0.4</u> 0.12-0.35	<u>0.4(0.6)-</u> <u>0.6(0.9)***</u> 0.25-0.5	<u>0.6(1.2)-0.8(1.5)***</u> 0.3-0.6
Сильная	<u>0.4-0.8</u> 0.35-0.7	<u>0.6(0.9)-1.0(1.4)***</u> 0.5-1.0**	<u>0.8(1.5)-1.5(2.0)***</u> 0.6-1.5
Очень сильная	<u>&gt;0.8</u> >0.7	<u>&gt;1.0(1.4)***</u> >1.0	<u>&gt;1.5(2.0)***</u> >1.5
Щелочное засоление (pH>8.5)			
Степень засоления почв	хлоридно-содовый**** содово-хлоридный Cl:SO <sub>4</sub> >1 HCO <sub>3</sub> >Ca+Mg HCO <sub>3</sub> >Cl	сульфатно-содовый и содово-сульфатный Cl:SO <sub>4</sub> <1 HCO <sub>3</sub> >Ca+Mg HCO <sub>3</sub> >Cl	сульфатно-хлоридно-карбонатный HCO <sub>3</sub> >Cl HCO <sub>3</sub> SO <sub>4</sub> HCO <sub>3</sub> <Ca+Mg
Порог токсичности (незасоленные почвы)	<u>&lt;0.1</u> <0.1	<u>&lt;0.15</u> <0.15	<u>&lt;0.2</u> <0.15
Слабая	<u>0.1-0.2</u> 0.1-0.15	<u>0.15-0.25</u> 0.15-0.25	<u>0.2-0.4</u> 0.15-0.3
Средняя	<u>0.2-0.3</u> 0.15-0.3	<u>0.25-0.4</u> 0.25-0.4	<u>0.4-0.5</u> 0.3-0.5
Сильная	<u>0.3-0.5</u> 0.3-0.5	<u>0.4-0.6</u> 0.4-0.6	не встречается
Очень сильная	<u>&gt;0.5</u> >0.5	<u>&gt;0.6</u> >0.6	не встречается

\* Сумма токсичных солей равна сумме ионов, выраженных в %.

$S_{\text{ток. солей}} \% = (\text{Cl} + \text{Na} + \text{Mg} + \text{SO}_{4\text{ток}} + \text{HCO}_{3\text{ток}}) \%$ . Ионы Cl, Na, Mg относятся к категории токсичных целиком;  $\text{HCO}_{3\text{ток}} \text{общ.} - (\text{Ca} - \text{HCO}_3)$ . Расчет суммы токсичных ионов проводится в мг-экв, затем эти ионы переводятся в проценты и суммируются.

\*\* Показатели по сумме токсичных солей при хлоридно-сульфатном типах засоления для категории сильно- и очень сильно засоленных почв округлены для удобства использования до 1,0-1,5 % против 0,9-1,4 в таблице, приведенной в «Классификации и диагностике почв» (1997).

\*\*\* Цифры в скобках соответствуют степени засоления по сумме в гипсоносных почвах, к которым отнесены почвы, содержащие более 1 %  $\text{CaSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ; по данным водных вытяжек обычно эти почвы содержат более 10-12 мг/экв. Са и SO<sub>4</sub> (не токсичного).

\*\*\*\* Степень содового засоления оценивается по показателям хлоридно-содового.

Таблица 3. Характеристика коллекторно-дренажной сети бассейна Аральского моря, на 2000г. (Духовный и др., 2004)

Страна	Орошаемая площадь (10 <sup>3</sup> га)				Скважины вертикального дренажа		Площадь, обслуживаемая одной скважиной (га)	
	всего	в том числе:			кол-во	в т.ч. работающие (%)		
		1	2	3				4
Узбекистан	4250.6	3 360.0	2 893.4	2 523.9	450	4 179	25-30	107.7
Казахстан	786.2	5 30.0	420.2	2 57.9	320	1503	00	213
Кыргызстан	411.8	158.04	158.04*	157.14	0,9	64	37.0	14.0
Туркменистан	1860.6	1511.2	1511.2*	1488.69	22.5	254	87.0	88.6
Таджикистан	718.0	364.5	364.5	323.23	41.24	1962	20	21.0
Итого по бассейну Аральского моря	7896	5973.6	5347.3	4750.86	764.6	7762	36.7	107.5

Страна	Протяженность сети (км)				
	Межхозяйственная		Внутрихозяйственная		
	всего	удельная протяженность (м/га)	всего	закрытый	в т.ч. удельная протяженность (м/га)
Узбекистан	31353.6	8.1-19.0	106439.7	38300.2	10-67.0
Казахстан	2400.0	3.1	13700.0	опытные участки	28.0 Кызыл-Орда
Кыргызстан	42.0	0.27	869.2	137.5	5.5
Туркменистан	8988.9	5.24	25263.4	6345.8	14.7
Таджикистан	2213.0	6.4	9279.0	3817	32.0
Итого по бассейну Аральского моря	44997.5		155551.3	48600.5	

\*Орошаемая площадь, на которой имеется коллекторно-дренажная сеть;

1. Площадь, требующая дренирования; 2. Площадь, обеспеченная дренажем;

3. Площадь, охваченная горизонтальным дренажем; 4. Площадь, охваченная вертикальным дренажем

Поступление воды в дренаж происходит самотеком под действием напора, образованного за счет разницы в уровнях грунтовых вод на междуренье и в полости перфорированного трубопровода. Для осуществления ремонтно-эксплуатационных работ на закрытой горизонтальной дрене предусматриваются специальные сооружения (смотровые колодцы, устья). Междреннее расстояние определяется гидрогеологическими и хозяйственными условиями, а также конструктивными особенностями водоприемной части дрен и составляет не менее 50 м.

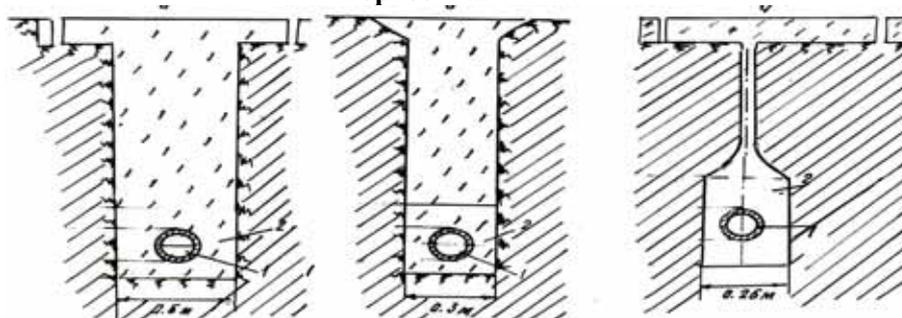
Вертикальный дренаж построен на площади 764 600 га и представляет собой систему (рис. 3) из буровых скважин с водоприемной и водоотводящей частями, водоподъемного оборудования; зданий для станции управле-

ния контрольно-измерительной аппаратурой, средствами автоматики и телемеханики; линий электропередач, трансформаторной подстанции и подъездных дорог. Скважины вертикального дренажа, выполняемые обычно диаметром 0,9-1,2 м, предназначаются для воздействия на верхний ярус подземных вод и поэтому бурятся глубиной до 50-100 м.

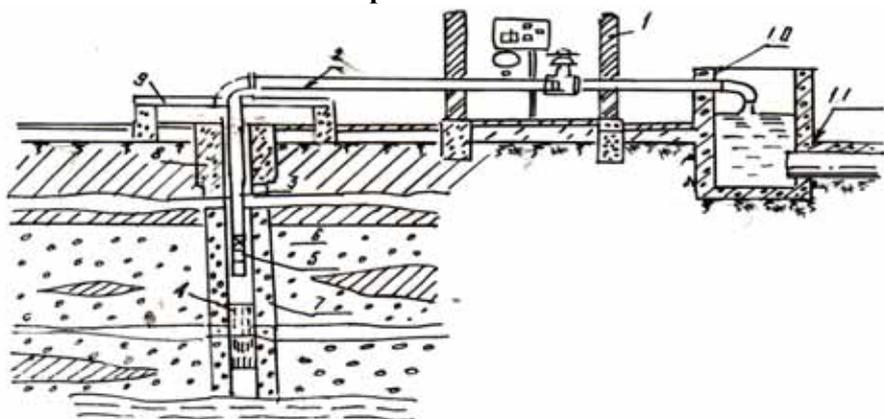
Водоприемная часть скважин размещается в хорошо проницаемых песчано-гравийных отложениях и оборудуется фильтровым каркасом, защищенным песчано-гравийной фильтровой обсыпкой. Водоподъемное оборудование размещается в эксплуатационной колонне труб, размещаемой над фильтровым каркасом. В качестве эксплуатационной колонны обычно использовались стальные обсадные, тонкостенные сварные, полимерные и асбестоцементные трубы, диаметром до 0,4 м, а для фильтрового каркаса применялись перфорированные трубы из тех же материалов или фильтры заводского изготовления. Площадь обслуживания скважины зависит от гидрогеологических и хозяйственных условий и может достигать 100-150 га.

Комбинированный дренаж (рис. 3) представляет собой систему из горизонтальных дрен (коллекторов), размещаемых в слабопроницаемом покровном мелкоземе, и вертикальных самоизливающихся скважин, водоприемная часть которых установлена в хорошо проницаемый подстилающий слой. На фоне такой системы возникающий при поливах напор, сопровождаемый подъемом грунтовых вод, передается в нижний хорошо проницаемый слой и формирует приток к вертикальным скважинам и самоизлив в сеть горизонтального дренажа. Соответственно, самоизливающиеся скважины, размещаемые вдоль дрены, усиливая ее действие, соответственно позволяют значительно расширить междренные расстояния. Для повышения водозахватной способности скважины комбинированного дренажа (глубиной не более 30 м) бурятся диаметром 500 мм и обсаживаются пластмассовыми трубами диаметром 100 мм с перфорацией в нижней части, размещаемой в хорошо проницаемом подстилающем слое (Духовный и др., 1982). Разработанный и доведенный авторами этого раздела до производственного внедрения (1975-1985 гг.) данный тип дренажа был реализован на площади 35-40 тыс. га.

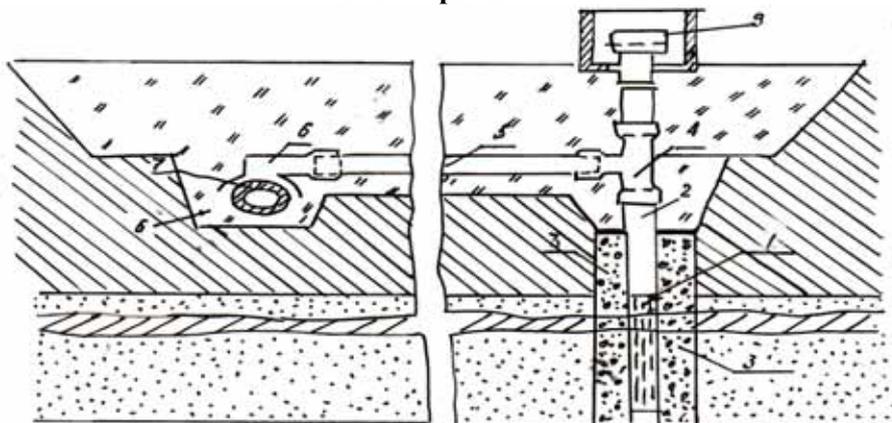
В качестве фильтровой защиты используется песчано-гравийная смесь специального состава, засыпаемая в затрубное пространство между водоподъемной колонной и стенками скважины. Расстояние между скважинами, устраиваемыми вдоль дрен, зависит от гидрогеологических условий и составляет 100-200 м.

**Горизонтальный:**

а: траншейный; б: узкотраншейный; в: бестраншейный. 1: перфорированная труба  
2: песчано-гравийная обсыпка 3: грунт обратной засыпки

**Вертикальный:**

1: здание управления; 2: напорный трубопровод; 3: эксплуатационная колонна;  
4: фильтровая колонна; 5: насос; 6: электродвигатель; 7: гравийная обсыпка;  
8: кондуктор; 9: опорная рама; 10: водоприемный колодец; 11: водосброс

**Комбинированный:**

1: фильтровая колонна; 2: водоподъемная колонна; 3: фильтровая обсыпка скважины;  
4: тройник; 5: водоотводящая труба; 6: бандаж с отводом; 7: труба дрена;  
8: фильтровая обсыпка дрены; 9: оголовок скважины

Рис. 3. Типы совершенного дренажа в Центральной Азии  
(В.А. Духовный и др., 1979, 1982; Н.М. Решеткина и др., 1978)

Выбор того или иного из выше перечисленных типов дренажа производится на основе анализа гидрогеологических особенностей конкретной территории. Горизонтальный дренаж в основном подходит для условий однородного строения грунтов с коэффициентом фильтрации от 0,01 до 1 м/сут и более, при близком (до 5 м) залегании водоупора. Он эффективен также в условиях неоднородного строения грунтов с маломощными (3-4 м) покровными мелкоземами, когда появляется возможность вскрывать хорошо проницаемые подстилающие слои (песок, гравий, и т.д.) и укладывать в них горизонтальные дрены.

Вертикальный дренаж перспективен в условиях преимущественно неоднородного строения грунтов с мощными (15-45 м) покровными мелкоземами, подстилаемыми хорошо проницаемыми песчано-гравийными слоями мощностью более 5 м и водопроницаемостью более 100 м<sup>2</sup>/сут. Он может быть эффективен и при меньшей водопроницаемости в условиях слабой проницаемости (менее 0,1 м/сут) покровных мелкоземов или напорности подземных вод подстилающих слоев. Ограничения по мощности покровного мелкозема обусловлены тем, что при мощностях менее 15 м на фоне вертикального дренажа создается пространственная неравномерность по глубине залегания грунтовых вод, скорости их снижения и темпам рассоления почво-грунтов, а при мощностях более 45 м резко возрастает сопротивление покровного мелкозема и теряется гидравлическая связь грунтовых вод покровного мелкозема, с подземными водами подстилающих слоев (Решеткина *и др.*, 1978).

Комбинированный дренаж перспективен в условиях неоднородного строения грунтов, сложенных покровными слабопроницаемыми (0,01-0,5 м/сут) мелкоземами мощностью от 5 до 15 м и хорошо проницаемыми напорными или безнапорными подстилающими слоями водопроницаемостью более 10 м<sup>2</sup>/сут. Неприменимость комбинированного дренажа в условиях маломощных покровных мелкоземов объясняется тем, что укладка его горизонтального элемента (глубиной 3-4 м) непосредственно в подстилающие хорошо проницаемые слои исключает необходимость устройства его вертикального элемента (скважин). При мощностях же мелкоземов более 15 м начинает возрастать его сопротивление и снижаться коэффициент перетекания (отношение объема воды с верхнего слоя покровного мелкозема к общему расходу отбираемому дренажем). В условиях же слабой проницаемости покровных мелкоземов (менее 0,1 м/сут), когда дренирующей способностью горизонтальной сети можно пренебречь, ее можно заменить неперфорированным «глухим» водоводом, лишь транспортирующим дренажный сток, поступающий из самоизливающихся скважин.

Благодаря таким преимуществам как низкая капиталоемкость, простота и дешевизна эксплуатации, комбинированный дренаж будет особенно перспективен в ближайшее время при реализации программы реконструкции и реабилитации дренажных систем.

Следует отметить, что широкое развитие строительство дренажных систем в Центральной Азии получило в 1960-1990 гг., когда по всем республикам проводилось интенсивное освоение новых и реконструкция мелиоративной сети на староорошаемых землях. В результате этих работ к началу 90-х годов здесь было построено 200,55 тыс. км коллекторно-дренажной сети, из которых 45 тыс. км - межхозяйственные и магистральные коллектора, 155,5 тыс. км - внутрихозяйственные (в том числе, 48,6 тыс. км дрен закрытого типа, а также 7762 скважины вертикального дренажа).

Наибольшая площадь охвата дренажем приходится на долю Узбекистана, где протяженность межхозяйственной и внутрихозяйственной коллекторно-дренажной сети составляет 137 793,3 км, в том числе 31 353,6 км – межхозяйственной. Также в этой республике больше всего внедрены совершенные типы дренажа – закрытые горизонтальные дрены и скважины вертикального дренажа, площади которых составляют соответственно 550 и 450 тыс. га. Однако к 2000 году площадь орошаемых земель под вертикальным дренажем сократилась до 380,4 тыс. га из-за консервации части работающих скважин. Аналогичная картина наблюдается и по системе закрытого дренажа из-за интенсивного отказа работоспособности первичных дрен. Объем неработающих закрытых дрен в Узбекистане и Таджикистане составляет от 34 до 40 % от общей их протяженности.

Вертикальный дренаж также развит в Казахстане и Таджикистане и охватывает соответственно 320 и 41,24 тыс. га с общим числом высокодебитных скважин соответственно 1503 и 1962 штук.

Обслуживаемая площадь одной скважины изменяется в зависимости от гидрогеолого-мелиоративных условий от 107,7 и 213 га (Узбекистан, Казахстан) до 21 га по Республике Таджикистан. В других республиках Центральной Азии больше всего развита открытая коллекторно-дренажная сеть, а вертикальные и закрытые дренажные системы построены в виде опытно-производственных (пилотных) участков.

При мелиорации почв главным показателем обеспеченности дренажем орошаемых земель является его протяженность на один гектар, которая в Узбекистане, Казахстане и Таджикистане составляет соответственно 67 м/га, 28 м/га и 32 м/га на внутрихозяйственном и 8,1-19 м/га, 3,1 м/га и 6,4 м/га на межхозяйственном уровнях. По этому показателю мелиорируемые земли этих республик с учетом наличия систем вертикального дренажа, можно отнести к территориям, обеспеченным искусственной дренированностью. Такими условиями не обеспечен Туркменистан, где удельная протяженность дренажа в среднем составляет 14,7 м/га. Однако следует учесть, что земли этой страны представлены более сложными гидрогеолого-почвенно-мелиоративными условиями.

Магистральные, межхозяйственные коллектора, вертикальный дренаж и частично закрытый дренаж до 1991 года во всех странах Центральной Азии находились на балансе государства (министерств мелиорации и водного хозяйства республик), а внутрихозяйственная открытая коллекторно-

дренажная сеть (КДС) и большая часть закрытых дрен на балансе хозяйств. В соответствии с этим межхозяйственная КДС, вертикальный дренаж и часть закрытого дренажа эксплуатировались областными гидрогеолого-мелиоративными или другими специальными организациями за счет госбюджетных средств. Внутрихозяйственная КДС эксплуатировалась за счет собственных средств хозяйств. Такая система организации эксплуатации сохранилась в Узбекистане и до настоящего времени.

### **Дренаж и проблемы засоления Ферганской области**

Принятая в качестве объекта исследования Ферганская область характеризуется наиболее сложными и неблагоприятными гидрогеолого-почвенными условиями, что обуславливает развитие неблагоприятных эколого-мелиоративных процессов при освоении и орошении земель (усиление напорности подземных вод, подъем уровня и рост минерализации грунтовых вод, и особенно, ускоренный темп реставрации засоления почв).

В геоморфологическом отношении территория Ферганской области представлена межгорной замкнутой котловиной, в верхней толще аллювиальными отложениями реки Сырдарья четвертичного периода, а краевые части аллювиально-пролювиальными отложениями обрамленных гор. Мощность четвертичных отложений в центральной зоне территории достигает 400-500 м, а в краевых частях 25-50 м. В литологическом строении четвертичные отложения представлены переслаивающимися песчано-гравийно-галечниковыми грунтами, разделяющими покровные мелкоземы в виде линз. Верхняя 10-20 м толща представлена переслаивающимися мелкоземами: супесью, суглинками и глинами. Рельеф в равнинной части области спокойный, с уклоном от 0,002 до 0,0005 м/м, предгорная часть относится к зоне больших уклонов  $> 0,002-0,05$  м/м и более. С юго-востока на северо-запад территорию пересекает р. Сырдарья, которая является водоприемником коллекторно-дренажных вод (Духовный и др., 2004; Решеткина, 1960).

Геоморфологические условия обусловили своеобразность гидрогеологической обстановки Центральной Ферганы, т. е. формирование высоконапорных подземных вод с притоком их со стороны гор, а также близкое залегание минерализованных грунтовых вод. Здесь до развития дренажных систем грунтовые воды залегали повсеместно на глубине до 2,0 м, и их минерализация изменялась от 3-5 до 10 г/л и более. Пьезометрические напоры повсеместно устанавливаются на 0,2-0,95 м выше уровня грунтовых вод. Воды глубоких слоев ( $> 20-50$  м) – слабоминерализованные, максимум до 3 г/л. При этом подземные воды, залегающие на глубине 180-200 м и глубже дают самоизлив, а их минерализация не превышает 0,5-1,0 г/л. Величина питания грунтовых вод за счет перетока из подстилающих напорных водоносных горизонтов составляет от 2-3 тыс. м<sup>3</sup>/га до 8-10 тыс. м<sup>3</sup>/га, что создает условия близкого залегания грунтовых вод и формирования

громадного дренажного стока, т. е. требует увеличения мощности дренажа (Якубов, 1960).

Почвенные характеристики тесно связаны с геоморфолого-гидрогеологическими факторами. В равнинной предгорной зоне территория представлена маломощными почвами легкого механического состава (супесь, легкие суглинки и др.), подстилаемыми грубо обломочными грунтами. Здесь грунтовые воды не участвуют в почвообразовательных процессах. Равнинная часть территории представлена лугово-сероземными и луговыми почвами, формируемыми с участием питания грунтовых вод. Земли представлены слоистыми почвогрунтами, различного механического состава. Бессточная зона представлена луговыми и лугово-болотистыми почвами, в формировании которых главенствует участие грунтовых вод.

Из-за близкого залегания грунтовых вод и усиленной напорности подземных вод во всех зонах, за исключением интенсивно дренированной, формируется поверхностное засоление и распределение запасов солей в верхнем 1,0-1,5 м слое, ниже которого грунты практически рассолены за счет восходящих токов, идущих из нижележащих водоносных горизонтов. Таким образом, Ферганская область является очень сложным регионом, где протекают неблагоприятные эколого-мелиоративные процессы, для управления которыми необходим комплекс сложных мероприятий, требующих огромных капиталовложений.

Здесь до начала XX века орошалось более 150 тыс. га земель, причем ирригационная система строилась без инженерных проектов и тем более без дренажа. Орошалась, в основном, территория не требующая искусственной дренированности. К середине 20 столетия площадь орошения возросла до 240-250 тыс. гектаров. Орошение развивалось с привлечением новых массивов, больше всего в зонах умеренного и слабого естественного дренирования со строительством межхозяйственных и редких внутрихозяйственных коллекторов без первичных регулирующих дрен, что при близком залегании грунтовых вод привело к развитию вторичного засоления.

К 1970 г. орошаемая площадь составила 286,7 тыс. га, а к 1990 г. она достигла 350 тыс. га, это в основном земли Центральной части Ферганской области между Большим Ферганским каналом и р. Сырдарья, расположенные в пределах естественно дренированной территории. Освоение же в последующем земель адыров усилило грунтовое питание ниже расположенных массивов, тем самым, ухудшив мелиоративное состояние земель. В настоящее время из общей орошаемой площади Ферганской области только порядка 90-100 тыс. га земель не требует искусственного дренирования. Площадь, обеспеченная дренажом, в 1970 г. составила 188 тыс. га (65,7 % от общей площади орошения), а в 2000 году она достигла 261 тыс. га (73,2 %).

На этой площади к 1995 году построены и эксплуатируются 13837 км коллекторно-дренажной сети (в том числе, 1332 км закрытого горизонтального дренажа), 1303 скважин вертикального дренажа. В тоже время к 2000 г. количество работоспособных скважин снизилось до 1288 штук, а

протяженность закрытого горизонтального дренажа (ЗГД) сократилось на 248,1 км (табл. 4). Удельная протяженность, определяющая уровень обеспеченности искусственной дренированностью, даже в 1970-1975 гг. имела относительно высокие значения 44,7 м/га – 52,8 м/га, то есть с 1975 г. она практически не изменялась. Небольшой рост удельной протяженности объясняется за счет строительства закрытого дренажа. При этом параллельно с ростом протяженности горизонтального дренажа здесь интенсивно строились скважины вертикального дренажа, количество которых в 1970 г. составило 100 шт., а к 1995 оно достигло 1003 шт.

Такая мощная система горизонтального и вертикального дренажа обеспечила огромный дренажный водно-солевой сток. Общий дренажный сток в 1970-1975 гг. составил порядка 2554 млн. м<sup>3</sup>, при водозаборе около 5078 млн. м<sup>3</sup>. Начиная с 1980 г., дренажный сток более или менее стабилизировался на уровне 2729-3051 млн. м<sup>3</sup> в год, при общем водозаборе около 5000 млн. м<sup>3</sup> в год. К 2000 г. несколько снизился, как водозабор, так и общий дренажный сток. Доля общего дренажного стока к водозабору по Ферганской области изменяется в пределах от 40,7 % (1970 г.) до 50,4 % (2000 г.).

В соответствии с общим объемом водозабора и его минерализацией, которая изменилась от 0,4 до 0,7 г/л, приток солей по области изменился от 2285,5 тыс. тонн (1970 г.) до 3600,2 тыс. тонн (1985 г.) в год, при его удельном значении 17,7 т/га и 15,8 т/га в год. К 2000 г. удельное поступление солей снизилось до 11,4 т/га в год. В тоже время общие и удельные выносы солей из орошаемой территории несколько превышают их поступления: удельные поступления солей с оросительной воды изменяются в пределах от 8 до 10 т/га в год, а удельные выносы солей с дренажными стоками 15-21,1 т/га в год. Водно-солевые балансы поверхностных вод складываются по типу рассоления с выносом солей с орошаемой территории порядка 5,2-11,3 т/га в год. Вынос солей из зоны аэрации изменяется в пределах от 21,0 т/га в год (1970 г.) до 8,6 т/га в год (1990 г.) (табл. 4).

Начиная с 1990 г. баланс зоны аэрации складывается по типу накопления солей выше уровня грунтовых вод, за счет притока их из нижних слоев. В этот период формировался положительный водный баланс между зоной аэрации и грунтовыми водами с притоком, за счет последних, от 528 до 865 м<sup>3</sup>/га в год и притоком солей от 7,28 т/га до 12 т/га в год. При этом тенденция роста площади засоления и, особенно, по категории выше среднего засоления подтверждает ухудшение эколого-мелиоративных условий и технического уровня дренажных систем. Ухудшение эколого-мелиоративных условий в большей степени обусловлено резким снижением работоспособности внутривозделных дрен-коллекторов, а также систем вертикального дренажа, объем откачек которых снизился за последнее десятилетие в 2,0–2,5 раза.

Таблица 4. Изменение состояние ирригационно-дренажных систем по Ферганской области (Духовный и др., 2004)

Показатели состояния ирригационно-дренажных систем	Год						
	1970	1975	1980	1985	1990	1995	2000
Орошаемая площадь ( $10^3$ га)	286,70	306,40	318,40	335,94	349,70	357,20	356,81
Площадь, обеспеченная дренажем ( $10^3$ га)	188,0	213,9	235,2	255,2	255,8	258,6	261,0
Общая протяженность дренажа (км)	8398,9	11298	12414,4	12940,2	12479,9	13818,5	13837
в том числе ЗГД (км)	14,3	30,7	48,2	83,1	1185,9	1332,4	1084,3
Удельная протяженность дренажа (м/га)	44,7	52,8	52,8	50,7	48,8	53,4	53,0
Кол-во скважин вертикального дренажа (шт)	100	255	509	768	1044	1303	1288
Объем откачек (млн. м <sup>3</sup> )	87	219,5	336,57	477,82	638,1	462,1	428,2
Водозабор на орошение (млн. м <sup>3</sup> )	5078,8	5074,6	5034	5294,4	4983,4	4960,8	4049,9
Минерализация оросительной воды (г/л)	0,45	0,59	0,63	0,68	0,61	0,70	0,70
Приток солей ( $10^3$ т)	2285,5	2994,0	3171,4	3600,2	3039,9	3472,6	2834,9
Удельная водоподача ( $10^3$ м <sup>3</sup> /га)	17,7	16,6	15,8	15,8	14,3	13,9	11,4
Удельное поступление солей, (т/га)	8,0	9,8	10,0	10,7	8,7	9,7	7,9
Общий дренажный сток (млн. м <sup>3</sup> )	2554	1598	3023	2191	3051	2871	2729
Дренажный модуль (на дренируемой площади) (л/с/га)	0,43	0,24	0,41	0,27	0,38	0,35	0,33
Чистый дренажный сток (млн. м <sup>3</sup> )	2043	1277	2418	1753	2441	2297	2183
Чистый дренажный модуль (л/с/га)	0,34	0,19	0,33	0,22	0,30	0,28	0,27
Доля дренажного стока от водозабора (на орошаем. площадь) (%)	40	25	48	33	49	46	54
Удельное водоотведение ( $10^3$ м <sup>3</sup> /га)	13,6	7,5	12,9	8,5	11,9	11,1	10,4
Минерализация дренажного стока (г/л)	1,8	2,85	2,12	2,39	2,21	2,28	2,28
Общий вынос солей ( $10^3$ т)	4598	4553	6409	5237	6742	6546	6222
Удельный вынос солей (с орошаемой площади) (т/га)	16,0	14,9	20,1	15,6	19,3	18,3	17,4
Доля дренажного стока от водозабора (на дренируемой площади) (%)	50,3	31,5	60,1	41,4	61,2	57,9	67,4
КПД оросительных систем	0,53	0,56	0,58	0,61	0,63	0,59	0,55

## Результаты исследований дренажа и контроль засоления в пилотном хозяйстве «Азизбек-1»

Следует отметить, что развитие дренажных систем при их удовлетворительной эксплуатации за 1965-1990 гг. позволило создать на орошаемых землях необходимые условия для формирования благоприятных эколого-мелиоративных условий и повышения продуктивности земли и воды. Эта тенденция детально иллюстрируется результатами исследований на опытно-производственном участке площадью 160 га в Ахунбабаевском районе Ферганской области (рис. 4). По границам участка проходят открытые коллектора: на юго-востоке Отсечный, на юго-западе Средне-Кызылтепинский. Регулирующая сеть состоит из глубоких закрытых дрен Д-1А, Д-1, Д-2, и Д-3, построенных из асбестоцементных труб с песчано-гравелистой обсыпкой.

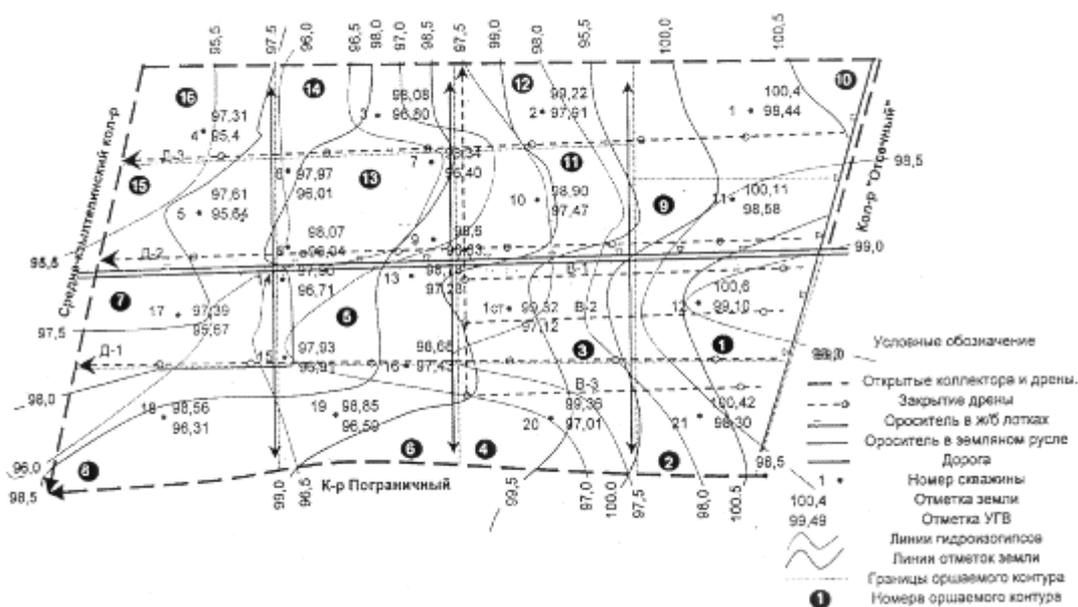


Рис. 4. План-схема и карта гидроизогипс фермерского хозяйства «Азизбек-1» Ахунбабаевского района по состоянию на 07.08.2004 г.

Указанные дрены построены в 1959-1960 гг. и впадают в Средне-Кызылтепинский коллектор, имеющий глубину заложения 3,5-3,7 м. Однако коллектор подвержен заилению и зарастанию и в основном служит для отвода сбросных вод. Пограничный и Отсечный открытые дрены-сборатели на северо-востоке также выполняют роль отводящего тракта сбросных вод, и они практически круглый год переполнены.

В гидрологическом отношении дренажный участок находится в зоне разгрузки подземных вод. По данным САНИИРИ, подземный приток со стороны составляет 3,0-4,0 тыс. м<sup>3</sup>/га, поэтому пьезометрический напор подземных вод, приуроченных к более глубоким водоносным слоям (глубина 100 м круглый год) устанавливается на 20-70 см выше уровня грунтовых вод.

Кроме указанных дрен на поливных картах 1, 2, 3 и 4 общей площадью около 40 га построены три пластмассовые дрены В-1, В-2 и В-3, глубина которых составляет 2,4 м.

Литологическое строение пилотного участка представлено переслаивающимися отложениями грунтов. Верхняя толща покровных мелкоземов отличается неоднородно-слоистым строением, пылеватостью, наличием на глубине 0,7-1,2 м слабопроницаемых гипсированных прослоек, замедляющих процесс передвижения влаги, а их средний коэффициент фильтрации изменяется от 0,2 до 2,0 м/сут.

До строительства системы закрытого дренажа уровень грунтовых вод залегал на орошаемых землях на глубине 1,2-1,6 м (с общей минерализацией 7-9 г/л), а на не орошаемых – 2,5-2,8 м (с минерализацией 20-22 г/л), что определяло интенсивность соленакопления в зоне аэрации. Содержание солей в метровом слое в исходном состоянии составляло 2,5-3,0 %, местами до 5 % от веса сухой почвы, в том числе, хлора 0,03-0,08 %. Тип засоления почвогрунтов и грунтовых вод – сульфатный.

Система закрытого дренажа введена в эксплуатацию со второй половины 1960 года. Среднегодовая водоподача на орошаемые земли с 1961 по 1975 гг. изменялись в пределах 13-15 тыс. м<sup>3</sup>/га, а дренажные модули составляли 0,22-0,36 л/сек/га, против 0,17 л/сек/га по проекту. В этот период дренажные линии работали в напорном режиме по всей длине. Нависание грунтовых вод над трубой по длине дрен изменялось от 0,5 до 1,4 м, увеличиваясь к их устьям.

В результате высокой работоспособности построенных дрен и соблюдения требований промывного режима орошения к концу 1964-1965 гг. на пилотном участке было достигнуто определенное улучшение водно-солевого режима:

- почвогрунты опреснились до уровня 1,2-1,4 % от от веса сухой почвы по сумме солей
- минерализация грунтовых вод снизилась до 3,5-5 г/л, против 5,5-10 г/л в исходном состоянии
- урожайность основных культур хлопчатника повысилась до 25-27 ц/га, против исходной 12-18 ц/га.

К концу семидесятых годов водно-солевые режимы практически стабилизировались с определенным диапазоном изменений по периодам года в зависимости от водопоступления на территорию.

Начало исследований по проекту совпало с периодом практически «полной» стабилизации водно-солевых процессов на фоне закрытого дренажа, которые характеризуются установившимися режимами водоподачи, дренажного стока, грунтовых вод и их минерализации, выносом солей с определенным варьированием темпов рассоления внутри года.

Общая площадь пилотного хозяйства составляет 160 га, она состоит из 16 картовых полей орошения, площадь каждой карты от 8 до 10 га. При этом шесть карт (поля: 1, 10-14) площадью около 60 га были засеяны хлопчатником, а оставшиеся 10 карт (поля: 2-9, 15, 16) площадью около 100 га – озимой пшеницей.

Полив на хлопковых полях проводился по бороздам, а пшеницы по полосам. На поле №1 хлопчатник поливался за вегетацию шесть раз, а на остальных полях пять раз. Поливные нормы на хлопчатнике изменялись от 1140 м<sup>3</sup>/га (минимальное значение) до 1410 м<sup>3</sup>/га (максимум), а оросительные нормы в пределах 5906 м<sup>3</sup>/га до 7283 м<sup>3</sup>/га. На озимой пшенице в 2001 году были даны 1-2 полива с нормами от 522 (поле № 7) до 1216 м<sup>3</sup>/га (поля 6 и 8). Оросительные нормы составили от 522-1260 до 2510 м<sup>3</sup>/га

Только на полях 3, 5 и 9 после уборки пшеницы осуществлялись повторные посевы кукурузы, остальные оставались как поля испарители. На двух полях (3 и 5) до посева проводился влагозарядковый полив нормами 824 и 965 м<sup>3</sup>/га. Поливные нормы для посевов кукурузы изменялись в пределах от 1036 м<sup>3</sup>/га до 1550 м<sup>3</sup>/га, а оросительные – 2306–2657 м<sup>3</sup>/га.

Во время поливов всех видов сельхозкультур сбросы с поливных участков составляли 125–267 м<sup>3</sup>/га (10-12 % от оросительной нормы).

С апреля 2001 года по апрель 2002 года, общий водный баланс территории складывался в следующем порядке:

- Сумма приходных статей баланса составила 16052 м<sup>3</sup>/га, из которых на долю водоподачи приходится 8417 м<sup>3</sup>/га, в том числе 6700 м<sup>3</sup>/га в вегетационный период и 1947 м<sup>3</sup>/га (77,5 %) в межвегетационный период. Величина подземного притока достигает 4359 м<sup>3</sup>/га, а атмосферных осадков 2186 м<sup>3</sup>/га
- Сумма расходных статей баланса составила 16217 м<sup>3</sup>/га. Невязка баланса равна 165 м<sup>3</sup>/га. В расходной части общего баланса суммарное испарение (эвапотранспирация) достигает 8529 м<sup>3</sup>/га (56,4 %), из которых 7797 м<sup>3</sup>/га приходится на долю вегетационного периода. Эвапотранспирация за вегетацию рассчитана по данным метеостанции «Фергана». Величина дренажного стока равна – 3417 м<sup>3</sup>/га (1436 м<sup>3</sup>/га за невегетацию), а подземного оттока – 2344 м<sup>3</sup>/га. Разность между притоком и оттоком составляет 2005 м<sup>3</sup>/га (табл. 5).

Таблица 5. Общий водно-солевой баланс орошаемой территории  
опытного участка фермерского хозяйства «Азизбек-1»  
в период IV(2002) – III(2003)

Приход											
месяцы	V		P <sub>r</sub>		E+Tr		(I-O)		W		Приток солей т/га
	м <sup>3</sup> /га	т/га									
IV	1166	0,58	135	0,04	473	-	0		17	0,01	0,63
V	665	0,33	348	0,11	770	-	0		352	0,12	0,57
VI	578	0,29	153	0,05	1526	-	711	0,25	274	0,10	0,68
VII	1596	0,80	14	0,00	1781	-	803	0,28	0	0,00	1,08
VIII	1326	0,66	7	0,00	1683	-	1402	0,49	0	0,00	1,16
IX	232	0,12	208	0,07	1080	-	1004	0,35	0	0,00	0,53
X	807	0,40	155	0,05	591	-	0	0,00	85	0,03	0,48
XI	0	0,00	81	0,03	177	-	276	0,10	102	0,04	0,16
XII	0	0,00	504	0,16	76	-	0	0,00	188	0,07	0,23
I	449	0,22	37	0,01	64	-	0	0,00	0	0,00	0,24
II	592	0,30	272	0,09	112	-	162	0,06	0	0,00	0,44
III	1006	0,50	272	0,09	196	-	0	0,00	72	0,03	0,62
Всего	8417	4,21	2186	0,70	8529	-	4359	1,53	1090	0,38	6,82

Расход									
Месяцы	-(I-O)		D		-W		Отток солей т/га	Солевой режим участка т/га	
	м <sup>3</sup> /га	т/га	м <sup>3</sup> /га	т/га	м <sup>3</sup> /га	т/га		т/га	т/га
IV	517	1,91	328	0,91	0	0,00	2,82		-2,19
V	244	0,90	351	0,97	0	0,00	1,88		-1,31
VI	0	0,00	190	0,53	0	0,00	0,53		0,16
VII	0	0,00	215	0,60	172	0,48	1,07		0,01
VIII	0	0,00	347	0,96	505	1,40	2,36		-1,20
IX	0	0,00	296	0,82	68	0,19	1,01		-0,47
X	174	0,64	282	0,78	0	0,00	1,42		-0,94
XI	0	0,00	282	0,78	0	0,00	0,78		-0,62
XII	460	1,70	156	0,43	0	0,00	2,13		-1,91
I	163	0,60	214	0,59	46	0,13	1,32		-1,09
II	0	0,00	388	1,07	526	1,46	2,53		-2,09
III	786	2,91	368	1,02	0	0,00	3,93		-3,31
Всего	2344	8,67	3417	9,47	1317	3,65	21,79		-14,97

Примечание: V: водоподача; P<sub>r</sub>: атм.осадки; E+Tr: эвапотранспирация; ± (I-O): приток и отток грунтовых вод; ±W: общие изменения запаса влаги в рассматриваемой зоне; D: дренаж

При этом в вегетационный период идет подпитка (приток) грунтовых вод в зону аэрации, величина которой в среднем по территории составляет порядка 2075 м<sup>3</sup>/га. В невегетационный период идет отток (переток) из зоны аэрации в грунтовые воды в размере 1942 м<sup>3</sup>/га, а в годовом разрезе формируется положительный водный баланс с притоком ненасыщенной зоны – 133 м<sup>3</sup>/га.

Несколько по другому складывается водный баланс почвенных вод орошаемого поля под хлопчатником, где водопоступление на 30 % больше, чем на других полях. Здесь водный баланс в годовом разрезе отрицательный (-3415 м<sup>3</sup>/га.) и только в мае и августе положительный – 1023 и 1130 м<sup>3</sup>/га соответственно (табл. 6).

Солевой баланс территории хозяйства в целом и орошаемого поля под хлопчатником (поле №13) складывается в соответствии с их водным балансом. Солевой баланс территории в годовом разрезе сложился отрицательно с незначительным выносом солей 4,4 т/га, а в вегетацию наблюдается их накопление в зоне аэрации до 15,4 т/га. Рассоление почвогрунтов зоны аэрации обеспечивается в зимне-весенний период за счет промывки, влагозарядковых поливов и осадков. В результате вынос солей достигает до 20,3 т/га.

Таблица 6. Баланс почвенных вод по демонстрационному полю №13 на территории опытного участка хозяйства «Азизбек-1» Ахунбабаевского района Ферганской области (2001-2002 гг.)

Месяц	P <sub>r</sub>	V	-W <sub>n</sub>	приход	E+T <sub>r</sub>	W <sub>n</sub>	расход	±q
IV	100	0	880	980	531	0	531	-449
V	34	0	176	210	1 233	0	1 233	1 023
VI	150	2 838	0	2 988	1 844	880	2 724	-264
VII	103	2 439	132	2 674	2 052	0	2 052	-622
VIII	100	1 122	0	1 222	1 296	1 056	2 352	1 130
IX	70	0	836	906	841	0	841	-65
X	160	1625	0	1 785	614	1 144	1 758	-27
XI	83	0	946	1 029	176	0	176	-853
XII	457	0	880	1 337	70	0	70	-1 267
I	365	0	528	893	59	0	59	-834
II	262	1 187	0	1 449	102	1 056	1 158	-291
III	103	1 299	0	1 402	187	506	506	-896
Итого	1 987	10 510	4 378	16 875	8 818	4 642	13 460	-3 415

Примечание: P<sub>r</sub>: атм.осадки; V: водоподача; ±W<sub>n</sub>: изменение запаса почвенной влаги; E+T<sub>r</sub>: эвапотранспирация; ±q: вертикальный обмен между почвенными и грунтовыми водами.

Аналогичная картина складывается и на поле №13 под хлопчатником. Здесь темп выноса, как в годовом разрезе, так и в межвегетацию несколько больше и соответственно составляет 8,31 т/га и 24,31 т/га, а в летние месяцы идет процесс накопления солей до 15-16 т/га. Несколько усиленный темп выноса объясняется большим размером водоподачи на поле по сравнению с таковой на общей территории и, особенно, в межвегетационный период. Результаты солевого баланса хлопкового поля показывают возможность сократить размеры водоподачи в невегетационный период без особого ущерба процессам рассоления почвогрунтов на 40-50 %, т. е. вместо эксплуатационной промывки нормой 2,0-2,5 тыс. м<sup>3</sup>/га ограничится вла-

гозарядковым поливом 1000-1200 м<sup>3</sup>/га. Обычно направленность общего и частных водно-солевых балансов дренированных орошаемых земель определяется водопоступлением. В соответствии с этим водно-солевые балансы поля и зоны аэрации поливных участков совмещенного посева (пшеницы с кукурузой) формируются идентично с таковыми хлопкового посева. В то же время водно-солевые балансы полей пшеницы, оставленных после их уборки, в виде «чистого пара» складываются несколько по-другому. Так водно-солевые балансы по полю №5 с совмещенными посевами сложились по отрицательному типу с оттоком воды порядка 911 м<sup>3</sup>/га, а солей - 10,17 т/га в год, тогда как по полю №2 с посевами только пшеницы – положительно с накоплением солей – 11,66 т/га в год. Между тем указанная интенсивность накопления солей в зоне аэрации складывалась при минерализации поливной воды 0,35-0,4 г/л, а грунтовых вод – 2,8-3,6 г/л.

Следует отметить, что по такому типу сложился водно-солевой баланс зоны аэрации полей №5 и №2. На поле №5 формировался отрицательный водный баланс зоны аэрации с инфильтрацией поливных вод в грунтовые воды «q» в размере – 2088 м<sup>3</sup>/га в год. На поле №2 баланс сложился положительно с притоком воды из грунтовых вод в зону аэрации в объеме – 3175 м<sup>3</sup>/га (рис. 5). Анализ инфильтрации по балансам показывает, что водно-солевые балансы отдельных поливных участков складываются по разному, несмотря на идентичную дренированность, даже при ограниченной площади хозяйства – всего 160 га. На территории фермерского хозяйства «Азизбек-1» более чем на половине площадей орошаемых земель под посевами пшеницы без высева повторных культур сложился положительный солевой режим, хотя территория высоко дренирована и закрытый дренаж здесь работает более 40 лет. С другой стороны собранные данные свидетельствуют, что даже на хорошо дренированной территории с большой продолжительностью работы дренажа, необходимо удовлетворять требования промывного режима орошения на засоленных землях, чтобы не допустить реставрации засоления.

Среднегодовой дренажный модуль по пилотному хозяйству в 2001 году составил 0,1 л/с/га, изменяясь от 0,075 до 0,13 л/сек/га, во внутригодовом разрезе максимальная величина соответствует вегетационному периоду и весенним влагозарядковым поливам. Дренажный модуль на современном уровне в 2,0-2,5 раза меньше, чем таковой в 1962-1964 гг., что связано с упорядочением водоподачи (в основном за счет снижения нормы промывок и перехода на влагозарядковые поливы взамен промывок).

Расходы дрен колеблются в широких пределах, как во внутригодовом, так и внутримесячном разрезе. Максимальные расходы наблюдаются по закрытой дрене УД-2 (участковая дрена), где они изменяются в пределах от 3,1-5,25 до 8,5-12,5 л/с, максимальное значение которых приходится на вегетационный, а минимальное на осенне-зимний период года. Минимальные расходы дрен формируются по дрене В-1 из гофрированных пластмассовых труб, заложенных на глубине 2,4 м и дрене У-1а длиной 800 м (асбестоцементных труб) глубиной в устье – 3,2 м. Расходы этих дрен изменяются в

пределах 0,8-1,5 л/сек (осенне-зимний период) до 3,0-6,5 л/сек. В осенние периоды года в дрене В-1 из пластмассовых труб приток прекращается из-за глубокого залегания грунтовых вод ( $h \leq 2,3-2,4$  м). Несмотря на усиленную работу дренажа в период полива общее направление потока грунтовых вод формируется в сторону Средне-Кызылтепинского коллектора (табл. 7).

Таблица 7. Изменение дренажного стока на территории фермерского хозяйства «Азизбек-1» площадью 160 га (1.04.02 – 31.03.03)

Ме- сяц	Наименование дрен						К-2 (10 га)		
	УД-1 (м <sup>3</sup> )	УД -1А (м <sup>3</sup> )	В-1 (м <sup>3</sup> )	УД -2 (м <sup>3</sup> )	УД -3 (м <sup>3</sup> )	Итого (м <sup>3</sup> )	Дренажный сток (м <sup>3</sup> /га)	УД -1 (м <sup>3</sup> )	Дренажный сток (м <sup>3</sup> /га)
IV	11095	5320	5779	18454	11872	52520	328	11095	277
V	10880	4832	5095	22574	12716	56097	351	10880	272
VI	8108	3903	1821	11666	4831	30329	190	8108	203
VII	7890	4680	3324	14482	4061	34437	215	7890	197
VIII	12176	8129	7026	23295	4902	55528	347	12176	304
IX	11108	5295	4164	21522	5216	47305	296	11108	278
X	10477	4602	4479	20131	5404	45093	282	10477	262
XI	10035	5867	3179	18956	7104	45141	282	10035	251
XII	6206	3161	0	12734	2900	25001	156	6206	155
I	4436	2476	5800	12734	8820	34266	214	4436	111
II	10375	16386	4289	20931	10103	62084	388	10375	259
III	11631	6750	5800	26515	8120	58816	368	11631	291
За год	114417	71401	50756	223994	86049	546617	3416	114417	2860

Ме- сяц	К-13 (10 га)				К-5 (10 га)			
	УД-2 (м <sup>3</sup> )	УД -3 (м <sup>3</sup> )	Сумма (м <sup>3</sup> )	Дренажный сток (м <sup>3</sup> /га)	УД -1 (м <sup>3</sup> )	УД -2 (м <sup>3</sup> )	Сумма (м <sup>3</sup> )	Дренажный сток (м <sup>3</sup> /га)
IV	18454	11872	30326	379	11095	18454	29549	369
V	22574	12716	35290	441	10880	22574	33454	418
VI	11666	4831	16497	206	8108	11666	19774	247
VII	14482	4061	18543	232	7890	14482	22372	280
VIII	23295	4902	28197	352	12176	23295	35471	443
IX	21522	5216	26738	334	11108	21522	32630	408
X	20131	5404	25535	319	10477	20131	30608	383
XI	18956	7104	26060	326	10035	18956	28991	362
XII	12734	2900	15634	195	6206	12734	18940	237
I	12734	8820	21554	269	4436	12734	17170	215
II	20931	10103	31034	388	10375	20931	31306	391
III	26515	8120	34635	433	11631	26515	38146	477
За год	223994	86049	310043	3876	114417	223994	338411	4230

На участке формируются испарительно-ирригационно-дренажный тип режима грунтовых вод с определенным значением подземного притока. Уровни и режим грунтовых вод на участке стабилизировались в зависимости от режима работы оросительных систем и водопоступления на территорию. Глубокое залегание грунтовых вод приходится зимний период

( $h = 2,25-2,50$  м), когда нет поливов, либо проводится полив только озимой пшеницы. Начиная с февраля, идет медленный подъем грунтовых вод, связанный с проведением промывок и влагозарядковых поливов под посев хлопчатника и других культур. В вегетационный период (апрель-июнь) среднемесячный уровень грунтовых вод колеблется от 2,04 до 2,24 м.

Минимальные и максимальные значения уровня грунтовых вод на полях под посевами хлопчатника и пшеницы объясняются их расположением относительно дрен и Средне-Кызылтепинского коллектора: на картах расположенных вблизи дрен, уровень на 0,25-0,4 ниже, чем в междурьях.

Минерализация грунтовых вод на пилотном участке повсеместно стабилизировалась на уровне 3,0-3,8 г/л по сумме токсичных солей и 0,06-0,1 г/л по хлору, против 5,8-10 г/л в исходном положении. По химическому составу грунтовые воды относятся к сульфатному типу. Общая минерализация грунтовых вод по периодам года изменяется незначительно: превышение составляет +0,2-0,5 г/л.

Минерализация оросительной воды колеблется от 0,37 до 0,47 г/л. Из-за очень слабой минерализации грунтовых вод и подаваемой на поля оросительной воды при промывном режиме орошения в почвогрунтах не наблюдается процесс реставрации засоления: солесодержание в корнеобитаемой зоне (0-1,5 м) изменяется в пределах 0,9-1,1 % от веса сухой почвы по сумме солей, тогда как в исходном состоянии оно превышало 3,0-3,5 %, а местами достигало 4,5-5,0 %. (рис. 5).

Таким образом, результаты исследований в рамках данного проекта показывают возможность перехода на более жесткую водоподачу в межвегетационный период, если территория обеспечена хорошо работающим дренажем со среднегодовым модулем 0,1 л/с/га. При этом посеvy зерновых обязательно должны совмещаться с посевами других сельхозкультур, что даст возможность ликвидировать реставрацию засоления при относительно близком залегании грунтовых вод – до 2,5 м.

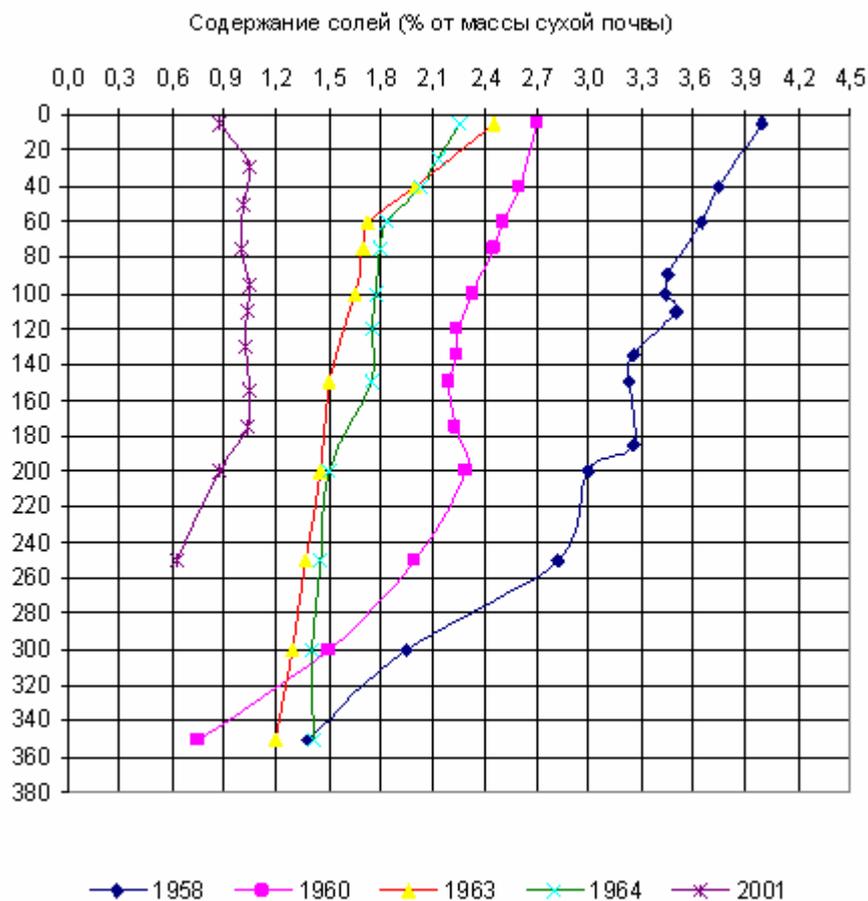


Рис. 5. Изменение содержания солей в почвогрунтах

## Библиография

- Аверьянов С.Ф. Борьба с засолением орошаемых земель, Москва: Колос, 1978, 268 с.
- Айдаров И.П. Регулирование водно-солевого и питательного режима орошаемых земель, Москва: Агропромиздат, 1985, 302 с.
- Веригин Н.Н., Шулгин Д.Ф. и др. Методы прогноза солевого режима грунтовых вод, Москва: Колос, 1979, 335 с.
- Голованов А.И. Прогноз водно-солевого режима и расчет дренажа орошаемых земель: Автореферат диссертации докт. техн. наук, Москва, 1975
- Духовный В.А., Баклушин М.Б. и др. Горизонтальный дренаж орошаемых земель, Москва: Колос, 1979, 254 с.
- Духовный В.А. Ирригационные комплексы на новых землях Средней Азии, Ташкент, Узбекистан 1983, 184 с.
- Духовный В.А., Якубов Х. и др. Дренаж в бассейне Аральского моря в направлении стратегии устойчивого развития, Ташкент, 2004

- Духовный В.А., Якубов Х., Умаров П.Д. Многофакторная классификация применения комбинированного дренажа при его проектировании, Москва: 1982, экспресс-информация, серия 9, выпуск 5
- Еременко Г.В., Усманов А.У. и др. Мелиоративная эффективность и перспектива развития горизонтального дренажа в Узбекистане, Ташкент, 1975, Вып. II, с. 32-50.
- Икрамов Р.К. Принципы управления водно-солевым режимом орошаемых земель Средней Азии в условиях дефицита водных ресурсов, Ташкент, «Гидроингео» 2001, 191 с.
- Ковда В.А. Происхождение и режим засоления почв - Москва, Изд. АН СССР, 1946-1947, т. 1, 2.
- Панкова Е.И., Айдаров И.П. и др. Природные и антропогенное засоление бассейна Аральского моря (география, генезис, эволюция), Москва, Колос, 1996, 186 с.
- Решеткина Н.М. Гидрогеологические основы вертикального дренажа, Ташкент: Изд-во ФАН, 1960 г., 143 с.
- Решеткина Н.М., Якубов Х.И. Вертикальный дренаж, Москва: Колос, 1978, 320 с.
- Якубов Х.И. Мелиорация засоленных земель на фоне вертикального дренажа, Ташкент: «Мехнат», 1990, 190 с.
- Якубов Х.И., Умаров П.Д. Управление водоподачей как средством формирования устойчивого баланса орошаемых земель в условиях напорных подземных вод, Алматы/Ташкент, 2003

## Глава 16.

### ВЗАИМОСВЯЗЬ МЕЖДУ ОРОШЕНИЕМ И ДРЕНАЖЕМ

В.А. Духовный<sup>26</sup>, Х.И. Якубов<sup>26</sup>, П.Д. Умаров<sup>26</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

---

<sup>26</sup> Научно-информационный центр МКВК, Узбекистан, г. Ташкент, 700187, м-в Карасу-4, дом 11. dukh@icwc-aral.uz

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, мелиоративные режимы, водо-солеобмен, 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;
- 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.

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).

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.



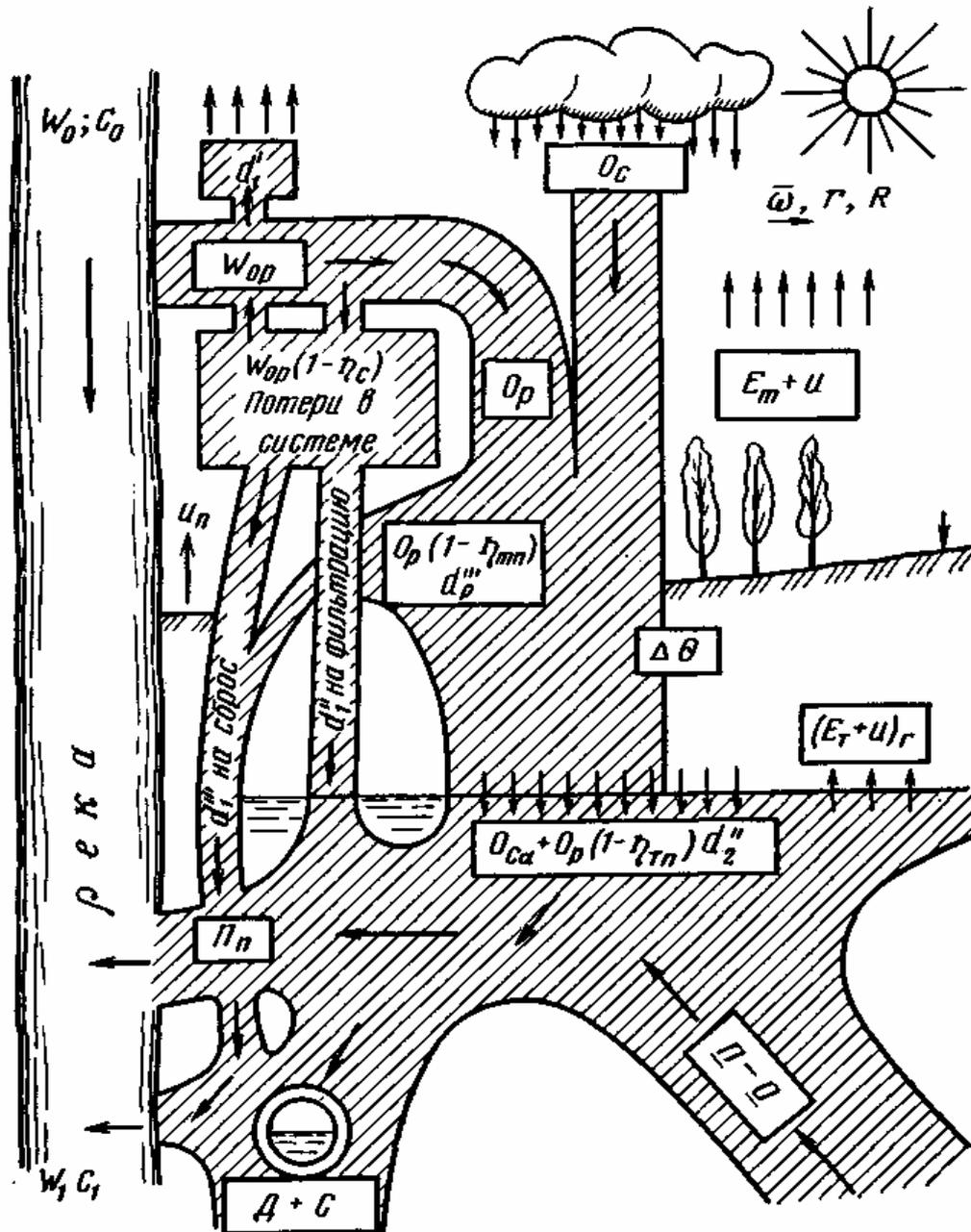


Рис.2. Взаимодействие орошения и дренажа в оросительных системах

$P_r$  - 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;  $\omega_0, \tau, R$  - скорость ветра, относительная среднемесячная влажность и радиационный баланс, соответственно;  $\Delta q$  - вертикальный водообмен;  $P_{ra} + I_r(1-\eta_{ir})d_2$  - просачивание с орошаемого поля;  $I$  - подземный приток в реки;  $I - O$  подземный приток - отток;  $D + s$  - дренажно-сбросные воды

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 водоподдачи.

### **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 табл. 1 и 2.

Если общими водно-солевыми балансами (табл. 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 режи-

мы, 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	$\Delta S = (S_{\bar{I}} - S_{\bar{O}}) + (S_{\bar{I}} - S_{\bar{O}}) + S_{\Delta} \pm S_p$	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	$\Delta S = (S_{\bar{I}} - S_{\bar{O}}) + (S_{\bar{I}} - S_{\bar{O}}) + S_a + S_i - S_f \pm S_p$	12
	Зоны аэрации	$\Delta S_a = (S_{\bar{I}} - S_{\bar{O}}) + S_a + S_i + S_f \pm S_q$	13
	Грунтовых вод	$\Delta S_{sp} = (S_{\bar{I}} - S_{\bar{O}}) + S_f \pm S_q + S_p$	14
При орошении и дренаже	Общий	$\Delta S = (S_{\bar{I}} - S_{\bar{O}}) + (S_{\bar{I}} - S_{\bar{O}}) + S_a + S_f - S_w - S_d \pm S_p$	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;  $S_{\bar{I}}$ : поступление солей с притоком грунтовых вод;  $S_{\bar{O}}$ : 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 осредненных условий Центральной Азии представлены на рис. 3.

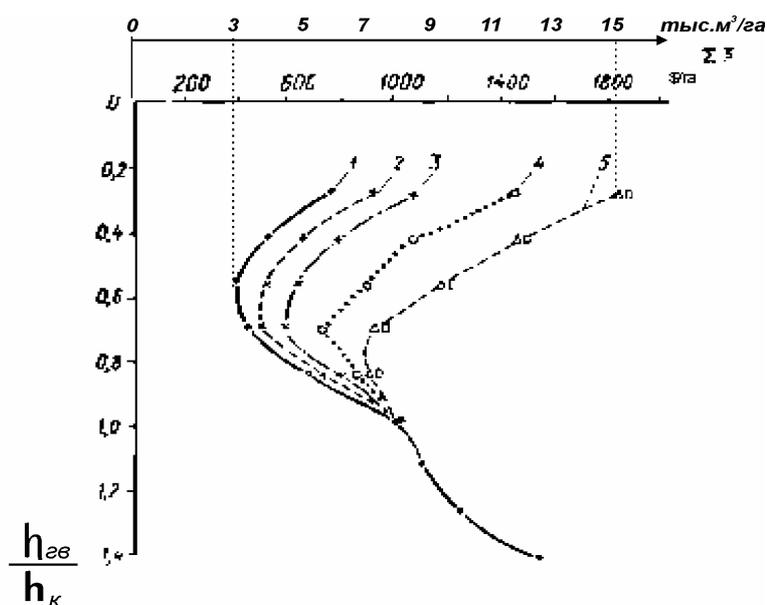


Рис. 3. Оптимизация мелиоративного режима по сумме приведенных затрат с учетом воды и урожая:  
 1 –  $C=1$  г/л; 2 –  $C=2$  г/л; 3 –  $C=3$  г/л; 5 –  $C=15$  г/л.  
 (а: водоподача,  $10^3$  м<sup>3</sup>/га;  $C$ : общая минерализация грунтовых вод, г/л;  
 $h_{гв}$ : уровень грунтовых вод, м;  $h_{к}$ : высота капиллярного подъема, м;  
 1, 2, ..., 5: кривые капитальных вложений в зависимости от  $h_{гв}/h_{к}$  и минерализации грунтовых вод ( $C$  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 ве-

личине капиллярного подъема ( $h_k$ ) (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-геологические условия.

Для хозяйства «Азизбек-1» существующая мощность дренажа, с чистым дренажным стоком 3400-3700 м<sup>3</sup>/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 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-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 сельскохозяйственных культур. 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 дренажей и Среднетепинского коллектора: на картах расположенных вблизи дренажей, уровень на 0,25-0,4 ниже, чем в междреньях.

Бороздковые поливы сельскохозяйственных культур 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 дренажа 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 дренажей. На картах вблизи дренажей она больше, чем в междреньях, как это проявляется на картах К-5 и К-13, которые находятся под влиянием дренажа 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>27</sup>) увеличивается от 0,25 до 0,45 в среднем, достигая максимума в начале ав-

<sup>27</sup> IAC - коэффициент «покрытия», в разрезе суток, орошаемой площади поливами.

густа – 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.

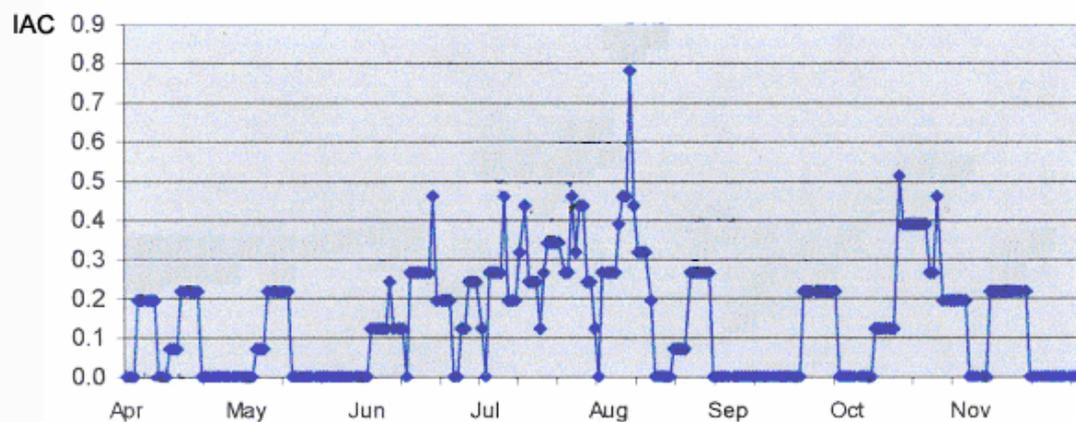


Рис. 4. Суточная динамика коэффициента «покрытия» орошаемой площади поливами (IAC) для участка дренируемого дренами - УД-3 (2001)

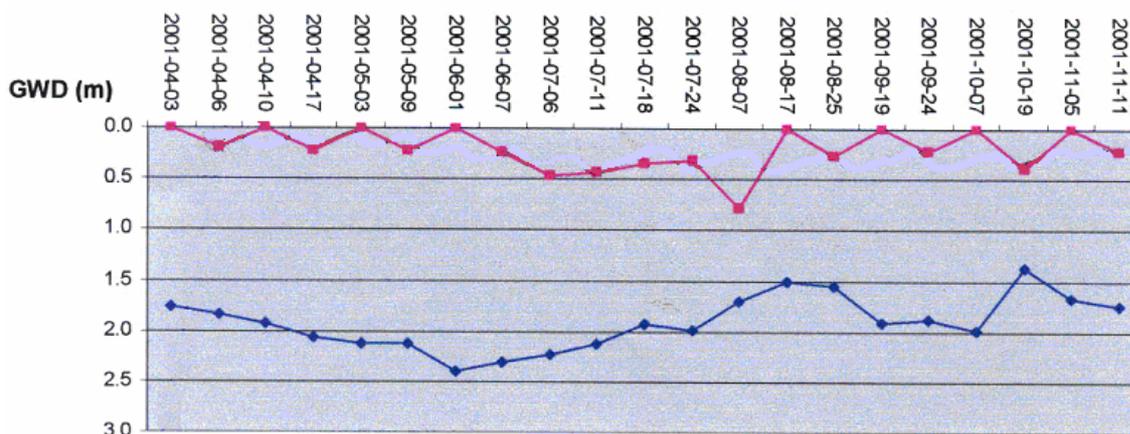


Рис. 5. Динамика глубины залегания грунтовых вод (GWD) и коэффициента «покрытия» орошаемой площади поливами (IAC) для участка дренируемого дренами - УД-3 (2001)

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 дренажом 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 междренья (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 $h^*$
	до полива	после полива	Изм.	ET+ΔET	Q+Δq	$H_{fsd}$					
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 3-го полива не 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; ΔET: 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; Δq: 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

$$* h = \frac{W_{kk}}{\mu \cdot 10^3}$$

## Выводы

При оценке 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 с.
- Духовный, В.А., 1984. Водохозяйственный комплекс в зоне орошения, формирование и развитие. Москва, Колос, 254 с.
- Духовный, В.А., Баклушин, М.Б., и др., 1979. Горизонтальный дренаж орошаемых земель. Москва: Колос, 254 с.
- 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 с.
- 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.