

Министерство мелиорации и водного хозяйства СССР  
СРЕДНЕАЗИАТСКИЙ ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ НАУЧНО-  
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ ИРРИГАЦИИ ИМЕНИ В.Д.ЖУРИНА  
( САНИРИ )

На правах рукописи

РЫСБЕКОВ ЮСУП ХАЙДАРОВИЧ

УДК 631.671:631.432.21:633.511.

ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ ГРУНТОВЫХ ВОД  
НА ВОДОПОТРЕБЛЕНИЕ ХЛОПЧАТНИКА

Специальность 06.01.02 -  
мелиорация и орошаемое  
земледелие.

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических  
наук

Ташкент - 1986

Работа выполнена в Среднеазиатском ордена Трудового Красного Знамени научно-исследовательском институте ирригации имени В.Д.Журина (САНИИРИ).

Научный руководитель: член-корр. АН УзССР, заслуженный деятель науки и техники УзССР, лауреат Государственной премии им.А.Р.Беруни Р.А.АЛИМОВ.

Официальные оппоненты:

доктор сельскохозяйственных наук, профессор С.М.КРИВОВЯЗ;  
кандидат технических наук, старший научный сотрудник Р.М.ГОРБАЧЕВ.

Ведущая организация - институт Узгипроводхоз.

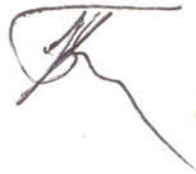
Защита диссертации состоится " 18 " декабря 1986 г.  
в 1400 час. на заседании специализированного совета Д.099.02.01 Среднеазиатского ордена Трудового Красного Знамени научно-исследовательского института ирригации имени В.Д.Журина.

Адрес: 700187, г.Ташкент, м.Карасу-4, дом II, САНИИРИ  
им.В.Д.Журина.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке института.

Автореферат разослан " 17 " ноября 1986 г.

Ученый секретарь  
специализированного совета  
доктор биологических  
наук



К.П.ПАГАНЯС

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ.

Актуальность тем. В нашей стране свыше 70 % сельскохозяйственных угодий находится в районах недостаточного увлажнения; в аридной же зоне получение высоких урожаев возделываемых культур тесно связано с проведением оросительных мелиораций. Эффективность фондовложений в орошаемое земледелие наиболее высока, почему и Продовольственной программой - майский (1982 г) Пленум ЦК КПСС - ему отводится ключевая роль в увеличении объема сельскохозяйственной продукции.

Одним из основных лимитирующих продуктивность растений факторов является водный режим почв, с созданием благоприятного в мелиоративном отношении которого тесно связаны задачи оптимизации норм орошения возделываемых культур. Острый дефицит водных ресурсов в Среднеазиатском регионе и потенциальные возможности освоения новых земель диктуют необходимость тщательной оценки потребности растений во влаге и источников ее покрытия. Во многих хлопко-косежных районах региона грунтовые воды залегают близко к поверхности земли и участвуют в водном питании растений. По мере дальнейшего развития орошения и ввода в оборот новых площадей с малыми уклонами и затрудненным оттоком грунтовых вод увеличивается процент земель, подверженных угрозе засоления. Разработка эффективных приемов предупреждения засоления орошаемых земель и борьбы с его последствиями возможна при знании закономерностей формирования суммарного испарения в зависимости от глубины залегания и минерализации грунтовых вод, почвенно-климатических условий, почему естественно усиление научных исследований в области водобалансовых расчетов.

Целью работы является усовершенствование расчетных зависимостей суммарного испарения хлопкового поля от испаряемости и количественная оценка влияния глубины залегания грунтовых вод на - объемы суммарного испарения хлопкового поля за вегетационный период и его структуру;  
- динамику расходования влаги хлопковым полем по месяцам вегетации;  
- коэффициенты биологических кривых водопотребления хлопчатника.

Методы исследований - физическое моделирование хлопкового поля в крупных лизиметрах. При анализе результатов исследований использованы методы математической статистики; экспериментальные

данные обрабатывались на ЭВМ.

Объект исследований. Представлены результаты экспериментальных исследований суммарного испарения хлопкового поля в зависимости от условий залегания грунтовых вод в 6 лизиметрах (крупнейших в стране) площадью по 25 м<sup>2</sup>. Лизиметрический комплекс организован по инициативе члена-корр. АН УзССР Р.А.Алимова в 1972 г. на территории НИСТО (научно-исследовательской станции техники орошения) САНИИРИ в Калининском районе Ташкентской области.

Научная новизна. Выявлена асимметрия в динамике хода испаряемости по климатическим показателям и суммарного испарения хлопкового поля и последнего при автоморфном и гидроморфном режимах; соответственно введено понятие гистерезиса водопотребления хлопчатника I и II порядков. Предложены качественно новые расчетные зависимости суммарного испарения хлопкового поля от испаряемости с учетом нелинейности связи между ними. Для аналогичных месту проведения экспериментов почвенно-климатических условий уточнены величины биоклиматических коэффициентов хлопчатника и распределение суммарного испарения хлопкового поля по месяцам вегетации в зависимости от глубины залегания грунтовых вод. Предложена формула зависимости грунтовой составляющей водопотребления хлопчатника от оросительной нормы и средневегетационного уровня грунтовых вод.

Практическая ценность и реализация результатов исследований. Полученные результаты могут послужить основой для корректировки существующих расчетных схем определения суммарного испарения хлопкового поля за вегетационный период и внутри его; использованы проектными и производственными организациями для составления планов водопользования, регулирования стоков и объемов водохранилищ. Основные результаты исследований использованы институтом Средазгидропроект в Схеме комплексного использования и охраны водных ресурсов СССР и Республиканским Главным Информационно-Вычислительным Центром Госагропрома УзССР при адаптации модели информационно-советующей системы оперативного планирования орошения (ИСС ОПО) для условий Ташкентской области. Ожидаемый годовой экономический эффект от внедрения результатов работы в модель ИСС ОПО составляет 191 тыс.руб.

Апробация работы. Основные результаты исследований доложены и приняты: на 12-ой сессии Международных Высших гидрологических курсов (Москва, 1981 г.); на УШ Всесоюзном симпозиуме по водному режиму растений (Ташкент, 1984 г.); научно-технической конферен-

цией молодых ученых и специалистов водного хозяйства КазНИИВХ (Джамбул, 1983 г.); Всесоюзными научными конференциями ... Проблемы изучения, охраны и рационального использования водных ресурсов" (Москва, 1983 г.), "Почвы речных долин и дельт, их рациональное использование и охрана" (Москва, 1984 г.), "Гидрология 2000 года" (Москва, 1986 г.), "Природные ресурсы пустынь и их освоение" (Ашхабад, 1986 г.), Юбилейной научной конференцией молодых ученых и специалистов, посвященной 60-летию ДАСМ Узбекистана (Ташкент, 1985 г.).

Исследования выполнены в соответствии с координационным планом НИР по темам 0.85.01.11.06 (1978-80 гг.) и 0.07.03.01 (1981-1983 гг.); обсуждались на семинаре отдела водного баланса орошаемых территорий (1985 г.) и заседаниях Ученого Совета секции мелиорации орошаемых земель и водохозяйственных проблем САНИИРИ (1981-1986 гг.).

Публикация. По теме диссертации опубликовано 10 работ.

Объем и структура работы. Диссертация состоит из введения и 6 глав; объем - 176 страниц, включает 24 таблицы и 31 рисунок. Использованная литература - 150 наименований, в т.ч. 25 иностранных изданий.

Основные положения, представляемые к защите:

- нелинейность связи суммарного испарения хлопкового поля и испаряемости (гистерезис водопотребления I порядка);
- запаздывание максимума водопотребления хлопчатника при близком УГВ по сравнению с таковым при глубоких ГВ (гистерезис водопотребления II порядка);
- необходимость разделения общей кривой зависимости суммарного испарения от испаряемости на кривые подъема и спада;
- уточненные величины коэффициентов биологических кривых водопотребления хлопчатника и распределение суммарного испарения хлопкового поля по месяцам вегетационного периода в зависимости от глубины залегания грунтовых вод;
- формула зависимости грунтовой составляющей суммарного испарения от оросительной нормы и уровня грунтовых вод.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

ГЛАВА I. Аналитический обзор существующих методов расчета водопотребления с-х культур составлен на основе условного разделения на группы и их критического рассмотрения.

Один из способов определения потребности растений во влаге - по коэффициентам транспирации ( $K_T$ ) или водопотребления ( $K_B$ ). Величины  $K_T$  (соответственно и  $K_B$ ) чрезвычайно динамичны даже для одной и той же культуры; для хлопчатника она меняется от 280 (Легостаев, Коньков, 1951) до 1650 (Рыжов, 1948). В зависимости от сорта транспирационные коэффициенты могут различаться в 1,5-2 раза, фона удобрений - 2-3, урожайности - 2-4, времени вегетации 2-6 раз (Алпатыев, 1954; Белоусов, 1979; Липкинд, 1961; Петин, 1969; Рыжов, 1948), почему и не могли найти широкого применения для оценки водопотребности возделываемых культур.

Эталонным для определения суммарного испарения является основанный на законе сохранения вещества метод водного баланса; последний служит базой для решения прикладных задач орошаемого земледелия. Вариантом метода водного баланса определения испарения является лизиметрический. Вопрос об оптимальной площади лизиметров для изучения испарения с орошаемых угодий является дискуссионным; для хлопчатника она колеблется от 0,36 (М.Алимов, 1961) до 4,5 м<sup>2</sup> (Ганиев, 1979). Основным недостатком нашедшим широкое применение лизиметров является их малое сечение (до 1,44 м<sup>2</sup>), чем и объясняется сильная вариация выходных данных, получаемых моделированием одних и тех же условий (Ганиев, 1979; и др.). При прочих равных условиях эти колебания носят не систематический характер и являются, на наш взгляд, следствием нарушения естественных условий произрастания растений и расчета водного баланса лизиметра без учета изменения влагозапасов зоны аэрации.

К определяющим факторам испарения, в т.ч. суммарного, относятся метеорологические, что было показано еще в прошлом веке К.А.Тимирязевым (1948), и условия увлажнения, почему понятно стремление исследователей найти связь между ними (Ольдекоп, 1911; Будико, 1948; Мезенцев, 1957, Турк, 1958). Теплоэнергетические ресурсы являются отправным моментом попыток построить картину потребления влаги растениями с помощью законов термодинамики и математических выкладок отечественными и рядом зарубежных исследователей (Константинов, 1968; Судницин, 1964).

К комбинированным методам определения суммарного испарения нами отнесены учитывающие внешние факторы испарения и в какой-то мере состояние растительного покрова и условия влагообеспеченности. Этим методам и расчетным формулам абсолютное большинство, и многие из них включают понятие испаряемость. Под испаряемостью понимают максимально возможное испарение с деятельной поверхности с неограниченными ресурсами влаги. По исследованиям многих авторов (Максимов, 1958; Сабинин, 1955; Константинов, 1968; Харченко, 1968; Алпатыев, 1957; 1969; Мулинов, 1964; Рыжов, 1948; Пенман, 1968; Турк, 1958; Шредер и др., 1970; 1979 и многих других) - суммарное испарение культурных угодий пропорционально испаряемости - обобщающего показателя климатических условий. Расчетные зависимости испаряемости от дефицита влажности воздуха были получены Ольдекопом (1911), Будаговским (1957), Зайковым (1955), Кузиным (1933), Процеровым (1953), от температуры воздуха - Селяниновым (1937), Лаури и Джонсоном (Израэльсен, 1956). Своего рода обобщением формул названных авторов явилась зависимость (Иванов, 1954; Молчанов, 1955):

$$E_0 = 0,8 \cdot 0,0018 (T + 25)^2 (100 - a), \quad (1)$$

где  $E_0$  - испаряемость за месяц, мм; T и a - среднемесячные температура (°C) и относительная влажность (%) воздуха.

Зависимость (1) является основой расчета объемов водопотребления в аридных районах (Шредер и др., 1970).

Формулы связи объема водопотребления растениями и показателями климатических условий получены Турком (1968), Торнтуайтом (Пенман, 1968).

Следующим шагом в усовершенствовании расчетных формул испарения явился учет параметра развития растительного покрова как отечественными (Ничипорович, Чмора, 1957; Шашко, 1957; Шаров, 1962; Будаговский, 1957), так и зарубежными исследователями - Блейни-Кридл (Алпатыев, 1969). Будико предложил методику расчета запотранспирации на основе совместного анализа уравнений водного и теплового балансов. Тепловоднобалансовая концепция является базисной в методе определения потребности растений во влаге, разработанной в ИГи (Харченко, 1968). Для приближенных расчетов объем водопотребления по Харченко <sup>известную</sup> известную схему определения суммарного испарения фитоценоза (E) по Алпатыеву:

$$E = K E_0, \quad (2)$$

где  $E_0$  - испаряемость,  $K$  - коэффициент пропорциональности.

По формуле (2) можно получить нашедшие широкое применение в проектных расчетах (в т.ч. Средазгипроводхлопком и СоюзНИИХИ для обоснования норм водопотребности) коэффициенты биологических кривых водопотребления культуры за вегетацию или отдельные его периоды. Небезынтересно отметить, что "коэффициенты биологических кривых" являются перевертышем индекса влагообеспеченности по Скворцову (1964), определяемого как  $E_0/E$ .

На недостатки многочисленных методов оценки потребности растений во влаге указывает практически каждый исследователь, предлагающий свою схему расчета. Показательным является мнение Алпатьева (1969): "Необычайное изобилие формул, предложенных для расчета испарения ... , многие из которых претендуют на абсолютную непогрешимость, служит бесспорным доказательством их региональной ограниченности". Отсутствие единого мнения по вопросам расчета водопотребления растительных сообществ указывает на необходимость продолжения исследований в этой области и обуславливает их несомненную актуальность.

ГЛАВА 2. Организация и методика исследований. Лизиметрический комплекс находится на территории НИИТО САШБИРИ в Калининском районе Ташкентской области. Климатические условия станции определяются ее принадлежностью к центральной климатической зоне Средней Азии. По данным ближайшей метеостанции "Каунчи" средние за последние 10 лет (1974-1983 гг) величины испаряемости ( $E_0$ ) по месяцам вегетационного периода следующие:

Месяц	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	IX-X
$E_0$ , мм	84	127	194	197	159	136	71	968

Массив расположен в зоне типичных сероземов. Почвы не засолены. По мехсоставу относятся к средним суглинкам. Режим почвообразования - автоморфный.

Впервые в практике исследований водопотребления сельскохозяйственных культур применяются крупные по размерам 6 лизиметров квадратного сечения приемной поверхностью по 25 м<sup>2</sup>, позволяющие воспроизводить хлопковое поле с размещением до 300-350 растений в каждом. Лизиметры представляют собой железобетонные ящики, облицованные внутри листовым металлом. Глубина лизиметров 2 м, 3 м и 4 м, мощность почво-грунта - 1,20 м, 2,10 м и 3,00 м попарно. Почвогрунт лизиметров подстилается песчано-гравийной толщей. Зарядка лизиметров (лессовидный суглинок нарушенной структуры) про-

ведена в 1972 г. Объемный вес верхней метровой толщи зоны аэрации опытного участка - 1,3...1,4 г/см<sup>3</sup>, средняя величина определенная методом залива площадок наименьшей (предельной полевой) влагоемкости того же слоя 21-22 % веса сухой почвы.

Минерализация грунтовых вод в лизиметрах и оросительной - 0,7...0,9 г/л. Моделируется искусственно-переменный уровень грунтовых вод. За годы исследований средневегетационный уровень грунтовых вод колебался в пределах: лизиметр № 2 - 2,5...2,9 м (полуавтоморфный режим), № 3 и 4 - 1,7...2,0 м (полугидроморфный), № 5 и 6 - 1,0-1,2 м (гидроморфный). Лизиметр № 1 моделирует автоморфный режим - имеет свободный выход воды у основания; для удобства построения графических зависимостей уровень грунтовых вод принят равным 4 м.

Комплекс полевых исследований включает измерение параметров водного баланса, наблюдения за динамикой уровня грунтовых вод и влажности почвы и фенологические. Принята нижеследующая методика определений: влажность почвы - прибором ПИВ-2 и термостатно-весовым методом (верхние 20-30 см); водоотдача почво-грунтов лизиметров - методом откачек грунтовых вод, - для расчетов принята средняя величина в 0,03; срок начала полива - по внешним признакам растений.

Испаряемость - по прибору ГТИ-3000 и формуле (1) Иванова-Молчанова; сопоставление величин испаряемости по этим методам (1978-1980 гг) показало их близкую качественную и количественную сходимость: испаряемость расчетная по отношению к определенной инструментально в разрезе месячных величин в летний период различалась на - 7...+10% (максимальные отклонения). В работе оперируем испаряемостью по Иванову-Молчанову.

Суммарное испарение за расчетный период - методом водного баланса по формуле:

$$E = X + M_{op} + M_3 - M_0 \pm I_{пл} \pm I_{гв}, \quad (3)$$

где  $E$  - суммарное испарение;  $X$  - осадки;  $M_{op}$  - оросительная норма;  $M_3$  и  $M_0$  - соответственно объемы заливок и откачек;  $I_{пл}$  - изменение влагозапасов почво-грунта;  $I_{гв}$  - изменение запасов грунтовых вод.

В 1982 г. в парных лизиметрах (№ 1,3,5) проводились поливы высокой частоты (11-12 за вегетацию) для выявления зависимости доли участка грунтовых вод от условий увлажнения зоны аэрации.

Сорт хлопчатника - "Ташкент-1". При проведении исследований

соблюдались необходимые агротехнические мероприятия по возделыванию хлопчатника.

ГЛАВА 3. Суммарное испарение хлопкового поля в зависимости от уровня грунтовых вод.

Объемы суммарного испарения снижаются от наибольших значений при гидроморфном режиме (9,0...11,8 тыс.м<sup>3</sup>/га) до наименьших на границе полуавтоморфного (6,3...7,8 тыс.) и автоморфного режимов и при переходе к последнему имеют тенденцию к увеличению (7,1...8,4 тыс.м<sup>3</sup>/га); при полугидроморфном режиме (1,7...2,2 м) суммарное испарение равнялось 7,7...9,0 тыс.м<sup>3</sup>/га (табл.1).

Таблица 1

Экстремальные величины суммарного испарения и его составляющих в зависимости от УГВ в лизиметрах и испаряемости (E<sub>0</sub>) за вегетационные периоды 1978...1983 гг.

Ср. вег. УГВ, м:	Более 3,5	2,5...2,9	1,7...2,2	1,0...1,2
X	35...130	35...130	35...130	35...130
M <sub>ор</sub> , мм	452...632	410...520	366...506	0...292
M <sub>з</sub> -M <sub>о</sub> , мм	-	22...100	20...412	394...922
I <sub>пт</sub> , мм	96...256	79...171	-15...176	11...75
I <sub>гв</sub> , мм	-	-77...18	-91...146	-4...216
E, мм	711...835	626...778	773...897	900...1175
в т.ч. E <sub>гв</sub> , мм	-	10...35	56...321	564...932
%	-	3...14	19...37	61...89
E <sub>о</sub> , мм	786...930			

ПРИМЕЧАНИЕ: E<sub>гв</sub> - грунтовая составляющая суммарного испарения.

Разница в величинах суммарного испарения при автоморфном (УГВ более 3,5 м) и полуавтоморфном режимах (2,5...2,9 м) за годы исследований варьировала в пределах 590...930 м<sup>3</sup>/га, или составила 8-14 % объема эвапотранспирации при полуавтоморфном режиме. Этот феномен объясняется инфильтрационным сбросом оросительной воды в глубинные горизонты и подтверждает факт увеличения водопотребления при переходе к автоморфному (Духовный, 1983; 1984).

В 1982 г. в лизиметрах 1,3,5 проводились высокочастотные поливы; высокая влажность зоны аэрации в этих лизиметрах оказала нивелирующее действие на формирование суммарного испарения, объемы последнего в разных по условиям залегания грунтовых вод лизиметрах оказались близки между собой - 8,8-9,4 тыс.м<sup>3</sup>/га (табл.2).

Таблица 2

Водный баланс лизиметров в 1982 г.  
(30.IV - 1.X)

Лизиметр	1	2	3	4	5	6
Ср. вег. УГВ, м	более 3,5	2,8	1,9	2,0	1,0	1,1
X, мм	51	51	51	51	51	51
M <sub>ор</sub> , мм	772	520	646	432	620	192
M <sub>з</sub> -M <sub>о</sub> , мм	-	92	96	184	256	792
I <sub>пт</sub> , мм	58	96	72	107	-33	11
I <sub>гв</sub> , мм	-	18	35	35	42	0
E, мм	881	777	900	809	936	1046
в т.ч. E <sub>гв</sub> , мм	-	110	131	219	298	792
%	-	14	15	27	32	76

Определение количественных показателей потребности с-х культур по конкретным интервалам времени и увязка их с метеословиями орошаемого массива являются основой для разработки приемов регулирования водного фактора продуктивности растений. Ход суммарного испарения в течение вегетации имеет ярко выраженную периодичность - наблюдается закономерность возрастания его объемов от минимальных значений в начале до максимальных в июле-августе и постепенное снижение в конце вегетации (рис.1). В зависимости от УГВ пик максимума суммарного испарения фиксируется в разные сроки. За период исследований максимальная интенсивность суммарного испарения хлопкового поля при автоморфном (УГВ - более 3,5 м) и полуавтоморфном (2,5...2,9 м) режимах наблюдалась в интервале третья декада июля ... первая декада августа, при полугидроморфном (1,7...2,2 м) - третья декада июля ... вторая декада августа, при гидроморфном (1,0...1,2 м) - во второй и третьей декадах августа. Сдвиги в сроках наступления максимальной интенсивности суммарного испарения хлопковым полем объясняется не одинаковым

развитием его при различных уровнях влажности зоны аэрации. Высокая влажность ризосферы при близком стоянии грунтовых вод приводит к отставанию в развитии растений; следствием является смещение периода максимального расходования влаги на более поздние сроки (рис.1). Наблюдаемое смещение сроков максимального потребления

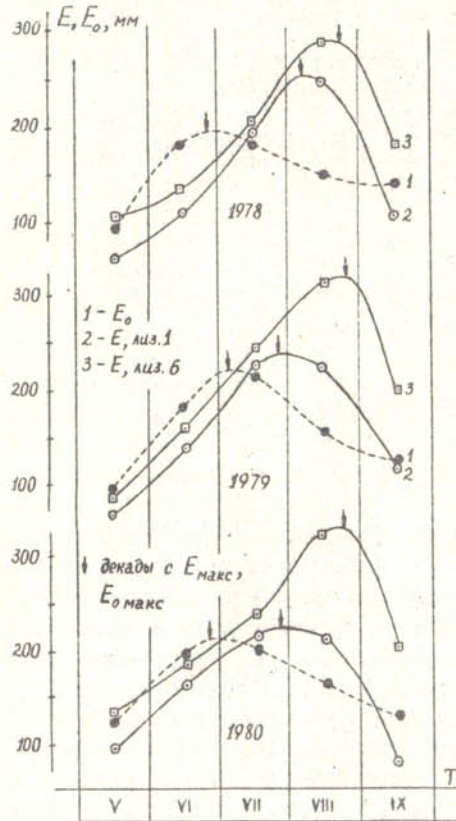


Рис.1. Динамика хода водопотребления хлопчатника (E) в лизиметрах и испаряемости ( $E_0$ ).

мощности противоречит укоренившемуся мнению о решающей роли метеорологических факторов в формировании водопотребления естественных и

внутри мелиоративных режимов названо нами сдвигом II порядка в отличие от сдвига I порядка, обусловленной неодинаковыми сроками наступления периодов максимума испаряемости и суммарного испарения. Запаздывание (гистерезис) пика водопотребления хлопчатника по отношению к таковому испаряемости имеет место за все годы, т.к. в месячном разрезе максимум испаряемости фиксируется в июне-июле, а суммарного испарения в июле-августе. Разница в сроках наступления пиков испаряемости и суммарного испарения хлопкового поля достигает 3-4 декад для автоморфного и 4...6 декад для гидроморфного режимов. Асимметрия в динамике хода суммарного испарения хлопкового поля и испаряемости

культурных угодий, которого придерживаются практически все исследователи. В то же время в работах многих авторов можно найти прямое (Лактаев, 1978; Ганиев, 1979; М.Алимов, 1979; Р.Алимов, Гапич, 1980; Мушкин, Гафуров, 1973; Духовный, 1983; Григоров, 1983) и косвенное - растения при близких грунтовых водах отстают в развитии: позже фиксируются прохождение критических фенофаз, соответственно и максимум водопотребления - подтверждение (М.Алимов, 1979; Рыжов, 1948; Самиев, 1979; Меднис, 1973; Петин, 1961 и др.) существования сдвигов I и II порядков. Указанное несоответствие является, на наш взгляд, следствием биогенетического закона развития растений, согласно которому обостренная требовательность культур к воде имеет эволюционную основу, и "растения повторяют черты далекого прошлого и во время формирования половых органов и оплодотворения нуждаются в повышенном содержании воды (Генкель, Баданова, 1961).

В большинстве случаев методы определения потребности растений в воде сводятся к выявлению зависимости типа:

$$E = \Phi(E_0), \quad (4)$$

где суммарное испарение (E) является линейной или квазилинейной функцией испаряемости ( $E_0$ ). Между тем наличие сдвигов I и II порядков указывает на необходимость существенной корректировки существующих в практике водобалансовых расчетов положений и приводит к интересным моментам в построении зависимостей суммарного испарения от испаряемости.

По результатам исследований построена зависимость  $E = \Phi(E_0)$ ; для сравнения нанесена кривая А (типичная) Средазгипроводхлопка (1979), которая служит основой для расчета водопотребности для автоморфных условий (рис.2). В обоих случаях объемы испаряемости подсчитаны по формуле (1). Кривая зависимости  $E = \Phi(E_0)$  лизиметров НИСТО (Б) не только смещена (нижняя часть) от таковой Средазгипроводхлопка, а имеет совершенно иной вид (верхняя). Перегиб и дальнейшее формирование кривой  $E = \Phi(E_0)$  обусловлены ведущей ролью фактора развития растений в водопотреблении в этот период, величины которого продолжают увеличиваться, а испаряемости - уменьшаться (см.рис.1). Для объяснения явного девиантного поведения кривой зависимости  $E = \Phi(E_0)$  в верхней части обратимся к рис.3: развернем месячные величины водопотребления хлопчатника и испаряемости в виде зависимости  $E = \Phi(E_0)$  нанесены в хронологическом порядке. Наблюдается строгая цикличность (отмечен-

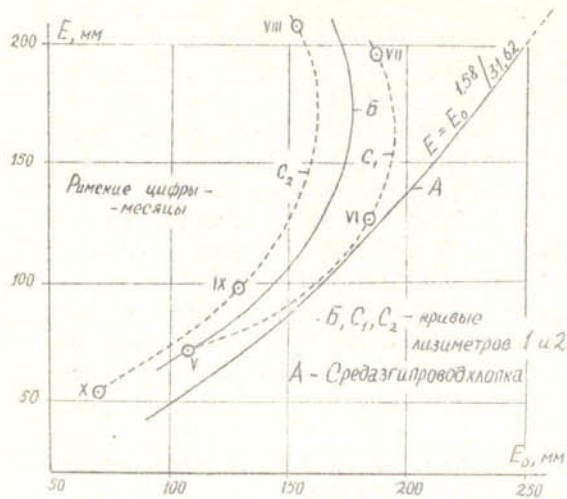


Рис.2. Зависимость месячных величин суммарного испарения (E) от испаряемости ( $E_0$ ).

2 отметим, что неординарное отклонение кривой Б в верхней части не случайно и обусловлено гистерезисным эффектом водопотребления хлопчатника. Более точно связь суммарного испарения хлопкового поля и испаряемости описывается только на участках подъема  $C_1$  (первая половина вегетации) и  $C_2$  (вторая). Гистерезисная петля при близком УГВ несколько отличается от других мелиоративных режимов за счет увеличения ординаты суммарного водопотребления; наглядно это отличие представлено суперпозицией петель гистерезиса водопотребления хлопчатника при различных мелиоративных режимах (рис.4).

Петля гистерезиса образуется и разверткой сдвигки II порядка при построении связи объемов суммарного испарения при различных, особенно ярко выраженная при полосных - автоморфном и гидроморфном - режимах (рис.5). В этом случае водопотребление при близких грунтовых водах можно принять за испаряемость. Петля гистерезиса водопотребления II порядка обусловлена неравномерностью развития культуры при различных уровнях влажности зоны аэрации и отличается от гистерезиса водопотребления I порядка направлением хода - в первом случае появлением новых текущих координат связи

ная за все годы исследований), обусловленная наличием сдвигки I порядка. После достижения максимума водопотребления начинается спад кривой, практически всегда смещенной к ординате. Зависимость, точнее связь  $E = f(E_0)$ , описывается петлей гистерезиса водопотребления I порядка (получается при развертывании сдвигки I порядка. Возвращаясь к рис.

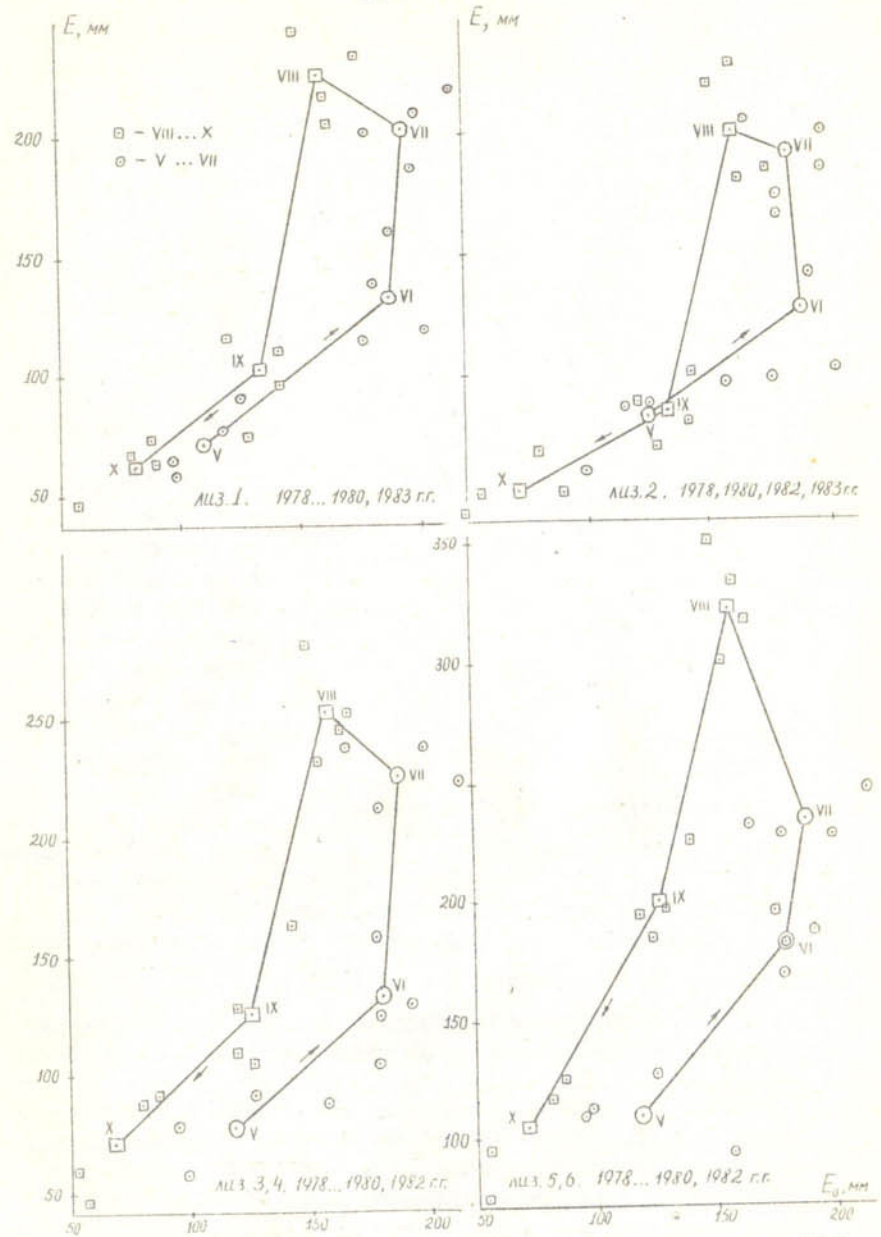


Рис.3. Связь водопотребления хлопчатника (E) и испаряемости ( $E_0$ )



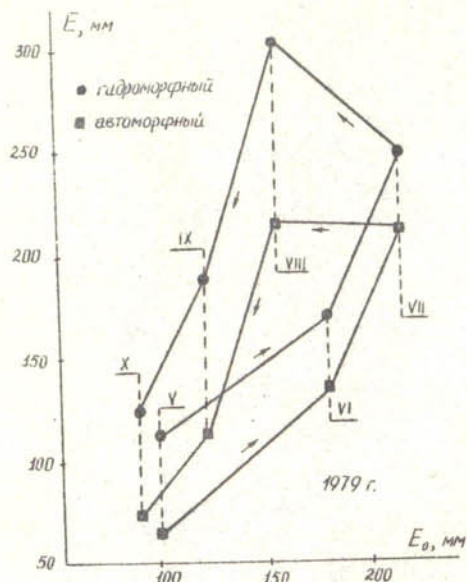


Рис.4. Суперпозиция петель гистерезиса водопотребления хлопчатника, 1979 г.

ся зависимостью параболического типа (имеет большую тесноту связи по сравнению с линейной, гиперболической и логарифмической):

$$E = A E_0^2 + B E_0 - C, \quad (5)$$

где A, B, C - коэффициенты пропорциональности. Простая операция разделения общей связи на кривые подъема и спада резко повышает корреляционные отношения (а) (табл.3).

Наибольшее несоответствие между фактическими и расчетными значениями водопотребления хлопчатника по формуле (5) наблюдается для июня и июля вегетации; причина в том, что в среднемноголетнем (1978-1983 гг.) разрезе испаряемость в июле всего на 3 мм больше таковой в предыдущем месяце, тогда как суммарное испарение увели-

по ходу часовой стрелки, во втором - против.

В работе приведены петли гистерезиса водопотребления хлопчатника и других культур и по данным других исследователей (Лактаев, 1978; Р.Алимов, Гапич, 1960; Рыков, 1948; Константинов, 1968; Рогоцкий, 1975; Пенман, 1968).

Статистическая обработка результатов исследований показывает, что в первом приближении связь между месячными величинами водопотребления хлопчатника ( $E$ , мм) и испаряемости ( $E_0$ , мм) как в целом за вегетационный период, так и за первую (апрель...июль) и вторую (август...октябрь) половины вегетации описывается

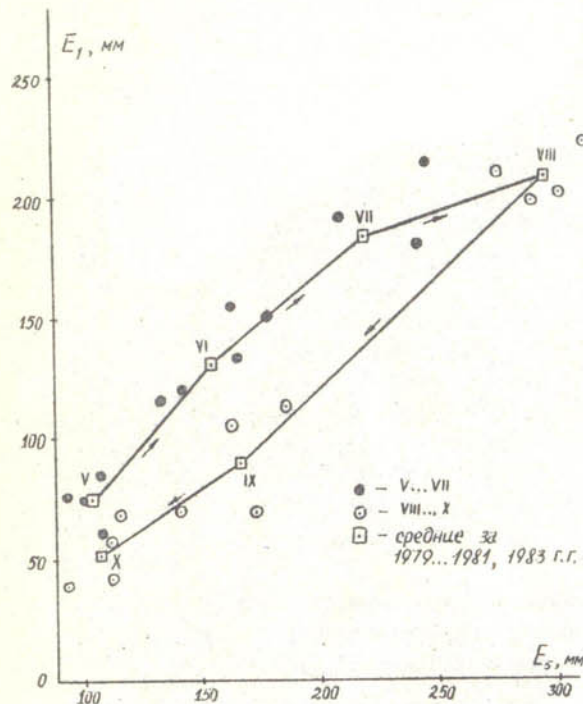


Рис.5. Связь месячных величин водопотребления хлопчатника в лизиметрах I ( $E_1$ ) и 5 ( $E_5$ ).

возможно, исходя из допущения, что каждый месяц вегетации характеризует определенный отрезок онтогенеза хлопчатника, почему логична замена роста растений на порядковый номер декады от начала вегетационного периода (T); в результате получаем приемлемую для практических расчетов формулу связи (табл.5).

Отметим, что линейная связь  $E = \Phi(E_0)$  может быть принята только для периода апрель...июнь ( $a = 0,97...0,98$ ).

Т.к. зависимость  $E = \Phi(E_0)$  нелинейна, в частности для периода июль-август носит обратный характер  $E = -\Phi(E_0)$ , коэффици-

чивается на 50-90 мм в зависимости от УГВ. Возникает необходимость введения в расчетную формулу связи  $E = -\Phi(E_0)$  для этого периода фактора развития растений. Ввод в уравнение связи третьей переменной (в качестве таковой выбран рост растений) позволяет усилить зависимость (табл.4).

Хотя рост хлопчатника является наиболее просто определяемым фенопараметром, оперирование им при расчетах приведет к известным неудобствам. Упрощение приведенных в табл.4 уравнений

Таблица 3

Значения коэффициентов А, В, С в формуле (5)

Ср.УГВ, м	Период	А, мм <sup>-1</sup>	В	С, мм	а	Δа
4	IV-X	-0,0023	1,65	-51	0,72	0,08
2,7	"	-0,0016	1,36	-38	0,76	0,07
1,7	"	-0,0046	2,23	-76	0,70	0,08
1,1	"	-0,0087	3,39	-115	0,70	0,08
4	IV-УП	0,0031	0,14	24	0,83	0,07
2,7	"	0,0017	0,41	14	0,83	0,07
1,7	"	0,0032	0,10	32	0,78	0,09
1,1	"	0,0011	0,75	6	0,87	0,05
4	УШ-X	0,0170	-2,15	124	0,85	0,07
2,7	"	0,0127	-1,43	85	0,83	0,08
1,7	"	0,0102	-0,56	54	0,84	0,08
1,1	"	0,0132	-0,88	94	0,93	0,03

Таблица 4

Уравнения связи месячных величин водопотребления хлопчатника (Е, мм), испаряемости (Е<sub>0</sub>, мм) и роста растений (Р, см)

Ср.УГВ, м	Период	Уравнения связи	а ± Δа
4	IV-УП	$E = 45,2 + 0,154E_0 + 1,425P$	0,96 ± 0,02
2,7	"	$E = 49,9 + 0,121E_0 + 1,491P$	0,94 ± 0,02
1,7	"	$E = 58,7 + 0,006E_0 + 1,774P$	0,96 ± 0,02
1,1	"	$E = 48,9 + 0,383E_0 + 1,119P$	0,95 ± 0,02

ПРИМЕЧАНИЕ: Рост хлопчатника - на конец расчетного месяца.

Таблица 5

Уравнения связи  $E = \Phi(E_0, T)$

Ср.УГВ, м	Период	Уравнение связи	а ± Δа
1	2	3	4
4	IV-УП	$E = 17,74T - 0,093E_0 + 13,3$	0,92 ± 0,03

Продолжение табл.5

1	2	3	4
2,7	IV-УП	$E = 12,99T - 0,077E_0 + 15,7$	0,91 ± 0,04
1,7	"	$E = 21,11T - 0,317E_0 + 27,5$	0,92 ± 0,03
1,1	"	$E = 17,10T + 0,008E_0 + 26,8$	0,96 ± 0,02

ПРИМЕЧАНИЕ: апрель, май, июнь и июль вегетации характеризуются порядковой срединной декадой месяца - соответственно 2,5,8,11.

енты биологических кривых водопотребления хлопчатника в течение вегетационного периода существенно (качественно и количественно) изменяются и отличаются от общепринятых. По формуле (2) подсчитаны коэффициенты биологических кривых водопотребления хлопчатника как  $K = E/E_0$ . Максимальные значения К отмечаются в августе - период массового плодообразования. К этому времени пик (месячный) испаряемости проходит, а водопотребление увеличивается, что приводит к значительному расхождению объемов Е и Е<sub>0</sub> (табл.6).

Таблица 6

Коэффициенты биологических кривых водопотребления хлопчатника (месячные значения)

Ср.УГВ, м	IV	У	UI	УП	УШ	IX	IV-IX
4	0,64	0,61	0,70	1,11	1,48	0,85	0,94
2,7	0,69	0,67	0,68	1,01	1,26	0,66	0,86
1,7	0,70	0,68	0,72	1,18	1,53	0,93	1,00
1,1	0,84	0,93	0,92	1,24	2,02	1,50	1,27

В августе превышение суммарного испарения над испаряемостью достигает 60...70 % при автоморфном и полуавтоморфном режимах, 80...110 % при полугидроморфном и 140 % при гидроморфном.

Ход коэффициентов биологических кривых водопотребления хлопчатника (месячные величины) в течение вегетационного периода описывается полиномом 4-ой степени:

$$K_a = 0,35 + 0,274T - 0,0826T^2 + 0,00911T^3 - 0,000300T^4, \quad (6)$$

$$K_{па} = 0,39+0,281T-0,0309T^2+0,00850T^3-0,000274T^4, \quad (7)$$

$$K_{пг} = 0,40+0,290T-0,0867T^2+0,00944T^3-0,000308T^4, \quad (8)$$

$$K_{т} = -0,27+0,915T-0,2173T^2+0,01962T^3-0,000567T^4, \quad (9)$$

где  $K_a$ ,  $K_{па}$ ,  $K_{пг}$ ,  $K_2$  - коэффициенты биологических кривых водопотребления хлопчатника соответственно при автоморфном, полуавтоморфном, полугидроморфном и гидроморфном режимах;  $I$  - порядковый номер срединной декады месяца, начиная с апреля. При расчете  $K$  за апрель  $T = 2$ , за май - 5, за июнь 8 и т.д.

Степень приближения расчетных по формулам (6...9) к фактическим (табл.6) величинам  $K$  весьма высока - максимальное отклонение не более 7 % при гидроморфном и 3 % при остальных режимах.

В заключении отметим, что максимальные величины  $K=E/E_0$  в практике водобалансовых расчетов принимаются равным 1,2-1,3 (декадные значения) и до 0,7 (месячные).

ГЛАВА 4. Взаимодействие грунтовых и оросительных вод и их роль в формировании суммарного испарения. Грунтовые воды при близком залегании к деятельной поверхности играют активную роль в формировании суммарного испарения с-х культур. В определенных условиях они вызывают вторичное засоление земель и приводят к резкому снижению продуктивности растений и выпадению значительных площадей из сельхозоборота. Отдача оросительных мелиораций, без которых практически немисливо ведение сельского хозяйства в аридной зоне, неразрывно связана с созданием благоприятного режима грунтовых вод на староорошаемых и вновь осваиваемых территориях; последнее возможно при знании качественных и количественных характеристик взаимодействия грунтовых и оросительных вод в условиях различных мелиоративных режимов.

Существует ряд ориентировочных данных и формул грунтовой составляющей суммарного испарения (Аверьянов, 1956; Костяков, 1951; Харченко, 1968; Духовный, Милькис, 1977 и др.). Лизиметры позволяют более точно установить размеры грунтового питания растений. В то же время именно по лизиметрическим данным наблюдается наибольшая амплитуда объемов грунтовой составляющей суммарного испарения для одних и тех же условий. Согласно опубликованным материалам (Киселева, 1971; Сурьминский, 1967; М.Алимов, 1979; Ганиев, 1979; Беспалов, 1970) <sup>в среднем</sup> экстремальных объемов грунтового питания хлопчатника при УГВ 1 и 2...3 м достигают соответственно 14 тыс.м<sup>3</sup>/га и 7 тыс.м<sup>3</sup>/га. Аналогичная картина наблюдается и в условиях конкрет-

ного места за отдельные годы: для Чирчик-Ангренского бассейна относительная разница между экстремальными значениями грунтового питания хлопчатника для УГВ 1 и 2 м составляет 275 и 850 % (Ганиев, 1979). По результатам наших исследований доля грунтового питания хлопчатника в суммарном испарении колебалась в пределах 3...14 % при УГВ 2,5...2,9 м, 15...37 % при 1,7...2,2 м и 32...89 % при 1,0...1,2 м (см.табл.1,2). Вышеприведенные данные указывают на необходимость комплексного анализа подземной и оросительной составляющих водопотребления хлопчатника, принимая во внимание очевидную зависимость расхода грунтовых вод на питание растений от водоподачи сверху. Так, при большой вариации грунтовой составляющей суммарного испарения (3...89 %) и объемов оросительной воды (0...646 мм) и глубине грунтовых вод 1...3 м по результатам исследований на лизиметрах НИСТО получено уравнение связи между ними с весьма высоким коэффициентом корреляции  $a = 0,96 \pm 0,02$ :

$$E_{ГВ} = III,2-0,093M_{ор}-2I,95H, \quad (10)$$

где  $E_{ГВ}$  - доля грунтовой составляющей суммарного испарения хлопкового поля, %;  $M_{ор}$  - оросительная норма, мм;  $H$  - уровень грунтовых вод, м.

За счет суммы объемов оросительной и грунтовой вод покрывается от 64 до 90, а со включением осадков - до 100 % водопотребления хлопчатника в зависимости от УГВ.

В главе рассмотрены также вопросы инфильтрационного питания грунтовых вод в лизиметрах. За рассматриваемые годы объемы инфильтрационного питания грунтовых вод колебались в пределах 2...10 % оросительной нормы при УГВ 2,5...2,9 м, 10...23 % при 1,7...2,2 м и 20...36 % при 1,0...1,2 м: максимальные объемы пополнения грунтовых вод достигали (для тех же интервалов УГВ) 40...42%, 35...39 % и 15...25 %. Время сработки инфильтрационного бугра грунтовых вод варьировало в пределах 3...28 суток в зависимости от УГВ в лизиметрах. Объем инфильтрации интенсивнее срабатывается в период цветения - плодообразования и при уменьшении глубины залегания грунтовых вод. В зависимости от фазы вегетации хлопчатника и степени увлажнения зоны аэрации динамика сработки инфильтрационного пика грунтовых вод описывается серией парабол, отличающихся лишь фокальными параметрами. В производственных условиях время сработки будет зависеть и от работы дренажа.

ГЛАВА 5. Влияние глубины залегания грунтовых вод на развитие, урожайность и удельное водопотребление хлопчатника.

Ведущими критериями, определяющими эффективность исследований в области мелиорации в аридной зоне, являются водный фактор и урожайность возделываемых культур.

При близком залегании грунтовых вод, равно как и высокой влажности зоны аэрации, создаваемой искусственно (1982 г.), хлопчатник отстает в развитии. В 1982 г. первые цветы в лизиметрах с высокой влажностью зоны аэрации появились на 3-5 дней, а первые раскрытые коробочки - на 12-14 дней позже, чем при УГВ 2,8 м. Аналогичная картина получается и за другие годы: срок появления первых раскрытых коробочек при УГВ 1,0...1,2 запаздывает на 5...16 суток (в среднем на 10 дней). Отставание в развитии растений при близких ГВ прогрессирует во времени - если первые цветы в лизиметрах 5 и 6 (1982 г) появились позже на 5 дней, чем при УГВ 2,8 м, то первые раскрытые коробочки - через 21 сутки после цветения - почему и на начало октября доля раскрытых коробочек от общего их числа составляет 25...30 %, тогда как при УГВ более 2,5 м - 70...80 %.

Урожай хлопка-сырца за первые три года исследований (1978-1980): при глубоких (более 3,5 м) грунтовых водах составил 55...60 ц/га, при УГВ 2,2...2,9 м - 44...60, 1,7...2,0 м - 46...66 и при 1,0...1,1 - 18...67 ц/га, в последующие годы (1981-1983) - соответственно 45...53, 32...45, 29...48 и 18...53 ц/га. Максимум биологического урожая получен в лизиметрах с близким стоянием грунтовых вод - до 82-92 ц/га. Доля полноценного урожая (сырца) от общего составила 75...98 % в лизиметрах 1...4 (УГВ 1,7 м и более) и 24...84 % при УГВ 1,0...1,2 м.

При близком залегании грунтовых вод увеличивается удельное водопотребление: в среднем за 1978-1983 гг. коэффициенты водопотребления на единицу полноценного урожая составили: при УГВ более 3,5 м - 153 м<sup>3</sup>/ц, при 2,2...2,9 м - 186 м<sup>3</sup>/ц, при 1,7...2,0 м - 168 м<sup>3</sup>/ц и при УГВ 1,0...1,2 м - 276 м<sup>3</sup>/ц. На создание 1 ц биологического урожая хлопчатника в лизиметрах израсходовано 130 ... 150 м<sup>3</sup> воды.

ГЛАВА 6. Практические выводы и рекомендации.

1. Общепринятое в практике водобалансовых расчетов представление о линейной (или квазилинейной) зависимости суммарного испарения культурных фитонензов от испаряемости является частным

случаем. Наблюдается смещение в сроках наступления максимумов испаряемости и водопотребления хлопчатника, а также пиков суммарного испарения в зависимости от глубины залегания грунтовых вод, что свидетельствует о нелинейности связи между ними.

2. Наличие гистерезисного эффекта водопотребления указывает на необходимость детализации однозначной связи суммарного испарения хлопкового поля и испаряемости разделением на кривые подъема (апрель...июль) и спада (август... октябрь). Для первой половины вегетации целесообразно использование в расчетных формулах фактора развития растений.

3. Значительные расхождения наблюдаются между расчетными (по испаряемости) и фактическими объемами водопотребления хлопчатника (табл.7).

Таблица 7

Испаряемость ( $E_0$ ), водопотребление хлопчатника при различных УГВ и расчетное ( $E_p$ ), мм

Ср.УГВ, м :	IУ :	У :	УI :	УII :	УIII :	IX :	IУ-IX
$E_0$	83	119	187	191	161	131	872
более 3,5	53	72	131	212	238	111	817
2,7	57	80	128	192	203	87	747
1,7	58	81	135	225	246	123	868
1,1	70	111	172	237	325	196	1111
$E_p$	34	62	124	129	95	68	512

ПРИМЕЧАНИЕ:  $E_p$  получено по формуле  $E = E_0^{1,58/31,62}$  (Средазгипроводхлопок).

4. Имеет место резкое несоответствие между расчетным распределением водопотребления хлопчатника и фактическим по месяцам вегетации (табл.8).

Таблица 8

Распределение водопотребления хлопчатника за период май-сентябрь, %, Ташкентская область

М/шт:	Данные по	У	УI	УII	УIII	IX	У-IX
1	2	3	4	5	6	7	8

Автоморфные условия

Продолжение табл.8

1	2	3	4	5	6	7	8
1	Лизиметрам НИСТО	9	17	28	31	15	760
2	Расчетной формуле	13	26	27	20	14	480
3	Средазгипроводхлопку	11	22	28	24	15	710
Гидроморфные условия							
4	Лизиметрам НИСТО	11	17	23	31	19	1040

ПРИМЕЧАНИЕ: позиция 2 - по схеме  $E=E_0 I,58/31,62$ ; позиция 3 - по "Методике расчета оросительных норм...", Сред-азгипроводхлопок, 1979.

5. Фактические месячные величины коэффициентов биологических кривых водопотребления хлопчатника в 1,5...2,5 раза превышают расчетные и достигают максимума в августе. Ход биоклиматических коэффициентов хлопчатника в течение вегетационного периода описывается полиномом 4-ой степени. Основой расчетной схемой логично принять динамику биокэффициентов хлопчатника при близких грунто-вых водах (максимальные ординаты в течение вегетации); водопотреб-ление для других мелиоративных режимов может быть получено пос-редством переходных коэффициентов от гидроморфного.

6. Грунтовое питание растений существенно зависит от объема водоподачи сверху; для сходных по почвенно-климатическим условиям к таким места проведения исследований предлагается формула свя-зи грунтовой составляющей водопотребления хлопчатника, ороситель-ной нормы и средне-вегетационного уровня грунтовых вод. Относи-тельные величины грунтовой составляющей (%) суммарного испарения хлопкового поля в диапазоне оросительных норм ( $M_{op}$ ) до 700 мм и УГВ до 3 м приведены в табл.9 (объемы суммарного испарения для тех же УГВ - в табл.7):

Таблица 9

$M_{op}$ , мм :	0	100	200	300	400	500	600	700
Ср.УГВ, м:								
1,1	87	78	68	59	50	40	31	22
1,9	69	60	51	42	32	23	14	4
2,7	52	43	33	24	15	5	-4	

7. Близкое стояние грунтовых вод отрицательно влияет на темпы созревания урожая хлопчатника; при благоприятных температурных условиях возможно получение высоких урожаев сырья и при близких грунтовых водах; однако абсолютные и удельные показатели расходу-вания влаги хлопковым полем остаются высокими.

Основные положения диссертации опубликованы в следующих рабо-тах:

1. Суммарное испарение хлопкового поля в зависимости от мелио-ративного режима. - Тезисы докладов научно-технической конференции "Вопросы дальнейшего развития орошения...". Джембул, КазНИИВХ, 1983, с.24-25.

2. Эвапотранспирация хлопчатника при различных мелиоративных режимах и способах полива. - Тезисы докладов Всесоюзной конферен-ции "Проблемы изучения, охраны и рационального использования вод-ных ресурсов". М., ИВП АН СССР, 1983, с.20-22.

3. Особенности построения кривой зависимости суммарного испа-рения от испаряемости. - Изв. АН УзССР, сер.техн.наук, 1984, № 5, с.53-55.

4. О нормах полива сельскохозяйственных культур. - Тезисы докладов Уш Всесоюзного симпозиума по водному режиму растений. Ташкент, Фан, 1984, с.83.

5. О лизиметрах с культурой хлопчатника. - Изв. АН УзССР, сер.техн.наук, 1985, № 1, с.47-49.

6. Корневая система хлопчатника и режим влажности почвы. - Те-зисы докладов юбилейной научной конференции молодых ученых и спе-циалистов, посвященной 60-летию ЛКСМ Узбекистана, ч.Ш. Ташкент, 1985, с.103-104.

7. К вопросу о водопотреблении хлопчатника. - Изв.АН УзССР, сер.техн.наук, 1983, № 5, с.51-54.

8. Влияние грунтовых вод на водопотребление хлопчатника. Хлопководство, 1985, № 7, с.31-32.

9. О гистерезисе суммарного испарения культурных растительных сообществ. - Тезисы докладов Всесоюзной конференции "Гидрология 2000 года". М., ИВП АН СССР, 1986, с.11-12.

10. К вопросу расчета суммарного испарения для оценки норм орошения хлопкового поля. - Сб. "Природные ресурсы пустынь и их освоение". Тезисы докладов У Всесоюзной научной конференции. Аш-хабад, "Илим", 1986, с.75-77.