

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
дополнительного профессионального образования
«Российская академия кадрового обеспечения агропромышленного комплекса»

Безбородов А.Г.

Безбородов Ю.Г.

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ БОРОЗДКОВОГО ПОЛИВА

Москва 2022

УДК 635:631.345

ББК 40.62

Б 39

Безбородов А.Г., Безбородов Ю.Г. Совершенствование бороздкового полива. Монография. - М.: ФГБОУ ДПО «РАКО АПК», 2022. - 167 с.

Рецензенты: Юрченко И.Ф. главный научный сотрудник, д.т.н.,
доцент ФГБНУ ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова;
Катаев В.И. профессор, к.э.н. ФГБОУ ДПО РАКО АПК.

В монографии рассматриваются вопросы совершенствования бороздкового полива, в совокупности направленные на водосбережение и качественное проведение полива сельскохозяйственных культур.

Монография предназначена для слушателей курсов повышения квалификации по программам: «Государственное регулирование оборота земель сельскохозяйственного назначения» и «Государственное регулирование в части мелиорации земель сельскохозяйственного назначения». Издание подойдет и для широкого круга пользователей интересующихся вопросами повышения качества бороздкового полива.

ISBN 978-5-93098-113-1

Оглавление

Введение.....	5
1. Нормативные показатели качества бороздкового полива.....	7
2. Усовершенствование теории физического испарения влаги с хлопкового поля на незасоленных и подверженных засолению землях с мульчированием почвы в междурядьях хлопчатника..	18
2.1. Теоретические основы испарения влаги с орошаемой почвы.....	19
2.1.1. Методы измерения испарения с суши.....	24
2.2. Условия и методика исследований.....	52
2.2.1. Климатические условия объектов исследований....	52
2.2.2. Схема полевого опыта и методика проведения исследований.....	58
2.2.2.1. Агротехника возделывания хлопчатника.	63
2.3. Результаты полевых и лабораторных исследований.....	67
2.3.1. Ташкентская область.....	67
2.3.1.1. Влияние технологии орошения и техники полива хлопчатника на агрохимические свойства почвы.....	67
2.3.1.2. Влияние технологии орошения и техники полива хлопчатника на агрофизические свойства почвы.....	69
2.3.2. Водный режим почвы.....	78
2.3.3. Экологические факторы мульчирования почвы на посевах хлопчатника.....	90
2.3.4. Результаты фенологических наблюдений за ростом и развитием хлопчатника.....	94

2.3.5. Урожайность хлопчатника в зависимости от технологии орошения.....	97
2.3.6. Технологические свойства хлопка-сырца.....	99
3. Использование тензиометров на незасоленных и засоленных почвах.....	101
3.1. Методика проведения исследований с помощью тензиометров марки «Иррометр».....	101
3.2. Результаты исследований по установлению зависимости влажности почвы от всасывающего давления.....	106
4. Планирование орошения сельскохозяйственных культур на засоленных землях с учетом электропроводности фильтрата водной вытяжки.....	124
5. Мелиорирующий эффект при мульчировании полиэтиленовой пленкой орошаемых почв сероземной зоны.....	132
6. Технология полива хлопчатника по бороздам, мульчированным соломой озимой пшеницы.....	146
7. Орошение хлопчатника по бороздам с кротовинами.....	149
8. Полив хлопчатника по чередующимся бороздам.....	151
9. Внесение глин в русло выводных борозд.....	154
Литература.....	157
Приложение. Инструкция по эксплуатации тензиометров.....	164

Введение

Бороздковый полив является одним из перспективных способов орошения сельскохозяйственных культур ввиду того, что проводится с минимальными затратами энергии. Бороздковый полив наиболее распространенный в мире и обладает существенным водосберегающим потенциалом. Кроме того бороздковый полив подвержен автоматизации, т.е. в настоящее время разработаны и апробированы такие технологии. Все вышеуказанное позволяет утверждать о том, что совершенствование бороздкового полива весьма актуально.

Основными преимуществами бороздкового полива являются низкие первоначальные капиталовложения и эксплуатационные затраты, отсутствие затрат на электроэнергию, а также относительно высокая производительность труда поливальщиков. Существенным преимуществом также является краткосрочное обучение персонала новшествам в технологии бороздкового полива, что не требует высокой квалификации обслуживающего персонала.

Бороздковый полив имеет преимущества по сравнению с другими видами полива при сильном ветре и в условиях когда поливная вода содержит в себе песок и иловые отложения. Кроме того, остальные способы полива имеют ограниченное распространение и требуют высокий уровень квалификации обслуживающего персонала.

Усугубляющийся дефицит водных ресурсов определяет необходимость совершенствования бороздкового полива как доминирующего в настоящее время и имеющего высокий водосберегающий потенциал для его улучшения, а также наиболее привлекательного для сельхозтоваропроизводителей ввиду низких инвестиционных затрат.

Наибольшая распространенность бороздкового полива объясняется также тем, что для него высотные отметки по ширине поля могут колебаться в широких пределах.

Общеизвестно, что значительная часть орошаемых земель в мире, а также в России орошается поливом по бороздам, т.е. бороздковым поливом. При этом виде поверхностного полива наблюдаются повышенные сбросы воды, как в конце поливных борозд, так и по длине борозд, что предопределяет актуальность водосбережения.

Ни для некого не секрет, что часто инвесторы, будь то отечественные или иностранные не рассматривают инвестиционные проекты в растениеводстве из-за существенных затрат на дождевальную технику и систему капельного орошения. И здесь на помощь может прийти бороздковый полив, как наиболее дешевый, но проводимый по научному и обученным в краткие сроки поливальщиками.

Структурно монография состоит из разделов в которых рассматриваются различные аспекты совершенствования бороздкового полива, а именно: показатели качества полива; теория физического испарения влаги с поля на незасоленных и подверженных засолению землях; использование тензиометров; планирование орошения; мульчирование борозд пленкой и соломой; полив по бороздам с кротовинами и чередующимся бороздам; внесение глины в русло выводных борозд.

1. Нормативные показатели качества бороздкового полива

Бороздковый полив пропашных культур является основным поливом, применяемым в Центральноазиатских странах. Он имеет свое место в международной классификации и отнесен к разряду поверхностного способа полива [14].

Несмотря на довольно продолжительный период существования бороздкового полива и большую вероятность его применения в ближайшей перспективе, обусловленную непродолжительной и малоэффективной практикой использования в аридной зоне других способов полива - дождевания, внутрпочвенного, капельного, - в мелиоративной науке по до сих пор нет единого мнения по составу элементов техники полива по бороздам. Нет нормативных критериев для оценки качества полива и забыты агротехнические требования на проведение бороздкового полива.

Необходимо рассматривать элементы техники полива по бороздам. В их круг обычно включают расход воды в борозду и длину борозд. Они имеют различные численные значения, обоснованные полевыми экспериментами, достаточно адекватны водопроницаемости почв, уклону местности и ширине междурядий пропашных культур.

Так, основоположник мелиоративной науки А.Н. Костяков в разработанной им теории бороздкового полива [39] отмечает, что равномерность увлажнения почвы по длине борозды характеризуется отношением

$$\frac{m_H}{m_B} = \frac{G_H}{G_B} \left(\frac{t_H}{t} \right)^{1-\alpha} \quad (1.1)$$

где: m_H и m_B – соответственно слой впитавшейся воды в голове и конце борозды;

G_H и G_B – соответственно активный смоченный периметр в голове и конце борозды;

t – продолжительность подачи воды в голове борозды;

t_H – то же в конце борозды;

α – коэффициент в формуле А.Н. Костякова $K_t = K_1 / t^\alpha$.

В научной литературе можно найти крайне различные данные по длине борозд. В табл. 1.1 и 1.2 приведены данные различных авторов по длине борозд, и как видно, разница между ними достаточно большая. Очевидно, что она обусловлена отсутствием обобщенных критериев оценки качества полива.

Таблица 1.1

Длина борозд по рекомендациям ФАО

Уклон	Длина борозды											
	тяжелого мехсостава				среднего мехсостава				легкого мехсостава			
0,0005	300	400	400	400	120	270	400	400	60	90	150	190
0,001	340	440	470	500	180	340	440	470	90	120	190	220
0,002	370	470	530	620	220	370	470	530	120	190	250	300
0,003	400	500	620	800	280	400	500	600	150	220	280	400
0,005	400	500	560	750	280	370	470	530	120	190	250	300
0,01	280	400	500	600	250	300	370	470	90	150	220	250
0,015	250	340	430	500	220	280	340	400	80	120	190	220
0,020	220	270	340	400	180	250	300	340	60	90	150	190
M_{op}^*	75	150	225	300	50	100	150	200	50	75	100	125

* Примечание: M_{op} – оросительная норма, мм.

Следует также отметить, что А.Н. Костяков для почв средней проницаемости и недостаточно спланированного поля с уклоном от 0,001 до 0,01 рекомендовал длину борозд принимать в пределах 60-120 м [39].

В некоторых рекомендациях, в частности ФАО, утверждается достаточность одного показателя – коэффициента полезного действия [27]. По рекомендациям ВНИИГиМ [51] в состав элементов техники полива по бороздам включены: длина борозд; расход воды; время добегаания; время долива; продолжительность полива.

Таблица 1.2

Длина борозд по Н.Т. Лактаеву при ширине междурядий 0,6 м
(в скобках 0,9 м) – в числителе, в знаменателе по В.Е. Еременко, м

Уклон земли	Механический состав почвы				
	облегчённый	лёгкий	средний	утяжелённый	тяжёлый
0,04	40	75	125	150	175
0,01	100/80-100	125	200/110-120	200	200/120-150
0,005	175/60-70	275	325 (450)/100-110	400 (450)	375 (450)/110-120
0,00175	225/60-70	300	350 (600)/80-100	425 (650)	400 (550)/100-110
0,0005	150	250	350 (600)	550 (850)	850 (1000)

Более широкий круг элементов техники полива применительно к хлопчатнику приводит Н.Т. Лактаев [45]. Для земель с различными уклоном местности и водопроницаемостью почвы им предложены следующие элементы техники полива с расчётным КПД «полива» (должно быть «борозды»): длина борозды; расход воды; время – добегаания, доливания общее; поливные нормы брутто, нетто; КПД; потери воды на испарение, фильтрацию, сброс. Длина борозд по его данным зависит от ширины междурядий: для узких междурядий она изменяется от 40 до 850 м; для широких - от 450 до 1000 м (табл. 1.2). К этому следует добавить, что эти данные рекомендованы применительно к хлопчатнику, незасоленным почвам и подачи воды в каждую борозду и на практике не проверены.

Однако, как в частной беседе говорил академик ВАСХНИЛ И.А. Шаров, борозда – это не цветочный горшок. Он обращал внимание на

объёмность, пространственность борозды, что должно быть введено еще одно свойство, характеризующее качество увлажнения расчётного слоя почвы по длине борозды - коэффициент равномерности полива.

К этому надо добавить предложения других авторов по определению качества полива. Так, в руководящем документе PD 10.11.3-89 [80] рекомендуется определять только коэффициент эффективности полива ($K_{эф}$)

$$K_{эф} = 1 - (\Delta W_{cp} / W_{cp}), \quad (1.2)$$

$$\text{где: } \Delta W_{cp} = (\sum(W_1 - W_{cp}) + (W_2 - W_{cp}) + (\Delta W_i - W_{cp})) / h, \quad (1.3)$$

$$W_{cp} = (\sum(W_1 + W_2 + \dots + W_i)) / h, \quad (1.4)$$

W – влажность расчетного слоя почвы, мм.

ΔW – разница во влажности почвы между отдельными точками и среднего её значения.

По существу $K_{эф}$ – это показатель равномерности увлажнения почвы, который можно применять для определения качества полива, проводимого любым способом.

Известен также коэффициент Вилькокса-Свейзла (K), относящийся к качеству полива дождеванием –

$$K = 100 (1 - (\delta / h_o)), \quad (1.5)$$

где δ - среднее квадратическое отклонение слоя дождя в дождемерах от среднего, мм;

h_o – средний по всем дождемерам слой дождя, мм.

В уравнении (1.5) отношение δ / h_o по существу является коэффициентом вариации (V) и тогда это выражение в относительных единицах принимает общепринятый вид

$$K = 1 - V . \quad (1.6)$$

В наших работах он принимается в качестве коэффициента равномерности увлажнения почвы по длине борозд.

Во многих работах в качестве коэффициента равномерного полива принимается отношение концевых и головных характеристик полива: глубины промачивания почвы, поливной нормы.

Таким образом, из-за неучёта двух важных критериев оценки качества полива по бороздам даются рекомендации по выбору элементов техники полива, не всегда пригодные для производства.

И.Ю. Денисов [31] для оценки качества бороздкового полива предложил использовать обобщенный коэффициент полива коэффициент эффективности полива K_{fp} -

$$K_{fp} = [A_1 (1 - \eta)^2 + A_2 (1 - (1 / (1 + C_v))^2 + A_3 (1 - \eta)]^{0.5}, \quad (1.7)$$

где η – КПД полива;

C_v – коэффициент вариации глубины промачивания по длине борозды:

$$\eta = t_{ид} / t_{фак};$$

$t_{ид}$, $t_{фак}$ – идеальная и фактическая продолжительность полива;

$$A_1 + A_2 + A_3 = 1; A_1, A_2, A_3 \geq 0.$$

Значения параметров A_1 , A_2 , A_3 назначаются по экспериментальным оценкам.

Вместо неопределенного третьего члена уравнения (1.7), нами предложено ввести член, учитывающий ирригационную эрозию, неизбежную при поливах на средних и больших уклонах местности –

$$A_3 (1 - p_{см})^2, \quad (1.8)$$

где $p_{см}$ – показатель смыва почвы при поливе,

$$p_{см} = m_{нор} / m_{ф}, \quad (1.9)$$

$m_{нор}$, $m_{ф}$ – соответственно нормативный и фактический показатели смыва почвы, т/га.

В соответствии с этим зависимость (1.7) приобретает вид

$$K_{fp} = [A_1 (1 - \eta)^2 + A_2 (1 - (1 / (1 + C_v))^2 + A_3 (1 - p_{см})^2]^{0.5}, \quad (1.10)$$

Показатель K_{fp} , как считает И.Ю. Денисов, пригоден для оценки качества бороздкового полива при разных технологиях: постоянной,

переменно, дискретной струей. Оптимальной считается технология, у которой показатель K_{fp} самый низкий.

Нами предложено оценивать качество бороздкового полива при любой технологии по показателю эффективности полива P ,

$$P = \eta K_p K_{cm}, \quad (1.11)$$

где η – КПД полива;

K_p – коэффициент равномерности увлажнения почвы по длине борозд;

K_{cm} – коэффициент смыва почвы при поливах.

$$K_{cm} = (N_{доп} + N_{пост}) / N_{см}, \text{ при } N_{см} > N_{доп} + N_{пост}, \quad (1.12)$$

$$K_{cm} = 1, \text{ при } N_{см} \leq N_{доп} + N_{пост},$$

где $N_{доп}$ – размер допустимой нормы смыва почвы за сезон, (2,5-5 т/га);

$N_{пост}$ – размер поступивших с поливной водой наносов, т/га;

$N_{см}$ – размер смыва почвы при поливах, т/га.

Коэффициент равномерности увлажнения почвы по длине борозды вычисляется по зависимости (1.6), где V – коэффициент вариации глубины увлажнения почвы по створам борозды. Он определяется по зависимости

$$V = \delta / h_{ср}, \quad (1.13)$$

где δ – среднее квадратическое отклонение глубины увлажнения почвы по длине борозды, м;

$h_{ср}$ – средняя по длине борозды глубина увлажнения почвы, м.

Для определения коэффициента вариации глубин увлажнения почвы необходимо иметь на поле не менее 5 точек измерения послеполивной влажности или такое же количество ординат на теоретической эпюре влажности почвы.

Н.Т. Лактаев в теорию бороздкового полива ввел два показателя качества полива: КПД борозды и равномерность увлажнения почвы по длине борозды. Причём для почв различной водопроницаемости полива в размере 0,70 для лёгких почв, 0,75 для средних и 0,80 для тяжёлых по механическому составу почв.

Рассчитанное по его данным среднее для всех сочетаний уклонов земли и водопроницаемости почвы произведение коэффициентов полезного действия и равномерности увлажнения почвы по длине борозд составляет 0,52 ($\pm 0,4$).

Более детальные исследования по установлению связи КПД борозды с коэффициентом равномерности увлажнения почвы по длине борозды провёл Ю.Г. Безбородов [13]. Расчеты проведены для наиболее представительных природных условий Узбекистана, часть результатов представлена в табл. 1.3.

По табличным данным среднее значение произведения двух коэффициентов равно 0,44. По данным 1, 4 и 9 строк таблицы были построены графики связи КПД и K_p , которые показали, что практически

Таблица 1.3

Зависимость КПД борозды от коэффициента равномерности увлажнения почвы (K_p) для разных природных условий

$K_p = 0,6$		$K_p = 0,7$		$K_p = 0,8$		$K_p = 0,9$	
КПД	КПД x K_p	КПД	КПД x K_p	КПД	КПД x K_p	КПД	КПД x K_p
1. 0,88	0,53	0,78	0,55	0,68	0,54	0,58	0,52
2. 0,82	0,49	0,73	0,51	0,64	0,51	0,55	0,50
3. 0,80	0,48	0,71	0,50	0,62	0,50	0,53	0,48
4. 0,75	0,45	0,67	0,47	0,58	0,46	0,50	0,45
5. 0,72	0,43	0,63	0,44	0,55	0,44	0,47	0,42
6. 0,69	0,41	0,60	0,42	0,52	0,42	0,45	0,41
7. 0,65	0,39	0,56	0,39	0,49	0,39	0,42	0,38
8. 0,62	0,37	0,54	0,38	0,47	0,38	0,40	0,36
9. 0,61	0,37	0,53	0,37	0,46	0,37	0,40	0,36
Среднее	0,436		0,448		0,445		0,431

для всех исследованных условий применения бороздкового полива связь между КПД борозды и K_p носит линейный характер и она показывает, что с увеличением КПД уменьшается K_p и наоборот – с увеличением K_p КПД уменьшается.

Однако для современного сельскохозяйственного производства иметь оптимальные элементы техники полива только для одной борозды совершенно недостаточно. Дело в том, что на полях вода в борозды подается из ок-арыков (выводных борозд). Последние относятся к особой категории водотоков, характерными показателями которых являются: периодическая работа в течение вегетационного периода; регулярно проводимая перед каждым поливом нарезка русла с разрыхлением плужной подошвы; переменная во время работы рабочая длина. Этим ок-арыки отличаются от постоянно действующих в течение вегетационного периода оросителей, проложенных в земляном русле.

Эти особенности сказываются на формировании потерь воды в них на фильтрацию и испарение. Нашими исследованиями [74] установлена зависимость потерь воды в периодически действующих водотоках от времени

$$\delta_t = (\beta / t^a) + (A / Q^n) , \quad (1.14)$$

где δ_t – потери воды на 1 км водотока, %;

Q – расход воды водотока, м³/ч;

t – время работы водотока, час;

a – коэффициент в формуле А.Н. Костякова $K_t = K_1 / t^a$;

A, β, n – параметры.

На основании зависимости (1.14) получена формула для расчета коэффициента полезного действия периодически работающего водотока (η) -

$$\eta = 1 - 0,01 l [(B / ((1 - a) t^2)) + (A / Q^n)] , \quad (1.15)$$

где l – длина водотока, км.

По этой зависимости проведены расчеты по определению КПД ок-арыков, потерь воды на фильтрацию в них и испарение при длине борозд 50, 100 и 200 м на примере хлопкового поля площадью 40 га (длиной 1000 м, шириной 400 м, типового поля для хозяйства № 11 Дусликского района Джизакской области Республики Узбекистан) Результаты расчетов приведены в табл. 1.4.

Таблица 1.4

Потери воды на фильтрацию и испарение внутри поля, м³

№№ п/п	Длина борозд, м	КПД борозды	Потери воды в бороздах	КПД ок- арыка	Потери воды в ок- арыке	Коли- чество ок- арыков	Потери воды в ок- арыках	Суммар- ные потери воды
1	50	0,95	1800	0,89	238	20	4750	6550
2	100	0,90	3600	0,92	276	10	2760	6360
3	200	0,85	5400	0,93	302	5	1500	6990

Протяжённость временного оросителя составляет: при длине борозд 50 м - 0,95 км, при длине 100 м - 0,9 км, при длине 200 м - 0,8 км. При КПД временного оросителя 0,9 потери воды в нём составляют: при длине 0,95 км - около 1440 м³; при длине 0,9 км – 1370 м³; при длине 0,8 км – 1350 м³.

Если принять, что поверхностный сброс с поля (с последнего яруса) при длине борозд 50 м составляет 5 %, при длине 100 м – 10 %, при длине 200 м – 15 %, то эти потери составляют соответственно 45, 90 и 135 м³.

С учётом этого общие потери воды на поле при одном поливе нормой 900 м³/га составят: при длине борозд 50 м – 8035 м³; при длине 100 м – 7820 м³; при длине 200 м – 8475 м³. При некоторой условности данных расчётов очевидно, что существует оптимум длины борозды, который определяется в зависимости от поставленной задачи. Если цель задачи состоит в минимизации затрат оросительной воды, то она может быть достигнута путём приведенных выше расчётов. Если же поставить цель

минимизации затрат ресурсов (воды, топлива, труда), то необходимо добавить расчёты затрат на устройство ок-арыков, на зарплату рабочих.

Длина борозды может стать предметом рассмотрения задачи экономической эффективности системы орошения с учётом стоимостной оценки оросительной воды, и земли (земли, теряемой под ок-арыками).

Таким образом, при оценке качества бороздкового полива следует принимать частные и общие критерии. К частным относятся коэффициенты: полезного действия борозды; равномерности увлажнения почвы по длине борозды, смыва почвы и их произведение. Чем выше это произведение, названное нами показателем эффективности полива, тем выше качество полива.

Рекомендуемые нормативные значения показателя эффективности полива по бороздам представлены в табл. 1.5.

Таблица 1.5

Рекомендуемые нормативные значения показателя эффективности полива по бороздам

Технология полива	Показатели эффективности полива	
	для земель, не подверженных ирригационной эрозии	для земель, подверженных ирригационной эрозии
Для стандартных борозд		
Полив постоянной струей	$\geq 0,43$	$\geq 0,35$
Полив переменной струей	$\geq 0,60$	$\geq 0,50$
Дискретный полив	$\geq 0,70$	$\geq 0,65$
Для мульчированных и комбинированных борозд		
Полив по мульчированным перфорированной пленкой бороздам	$\geq 0,72$	$\geq 0,70$
Полив по комбинированным бороздам (нижняя часть стандартных мульчирована соломой озимой пшеницы)	$\geq 0,75$	$\geq 0,75$

К общим критериям полива по бороздам относятся: объём потерь воды на поле; стоимость потраченных на производство полива ресурсов; стоимость урожая; прибыль. В современных условиях переходной экономики, очевидно, одних частных критериев оценки качества бороздкового способа полива пропашных культур уже недостаточно. Поэтому технологам, экономистам и экологам необходимо разработать соответствующую современным условиям методику расчета экономической эффективности системы орошения по бороздам.

2. Усовершенствование теории физического испарения влаги с хлопкового поля на незасоленных и подверженных засолению землях с мульчированием почвы в междурядьях хлопчатника

Физическое испарение влаги часто считают непродуктивным и поэтому в условиях возрастающего дефицита оросительной воды снижение объёма испарения влаги с поверхности почвы хлопкового поля является перспективным методом экономии дефицитной оросительной воды. Вместе с тем, несмотря на многочисленные исследования, проведенные по изучению физического испарения влаги, достоверных результатов по его определению в ходе роста и развития хлопчатника не получено, а существующие теории испарения не учитывают ни засоления почвы, ни динамику затенения почвы листовой поверхностью хлопчатника.

Сопоставление случайной погрешности измерения испарения как методами испарителей, так и теплового баланса с естественной вариацией испарения показывает, что в настоящее время они соизмеримы. Это указывает на не достаточно удовлетворительную точность измерений.

Специально выполненные исследования свидетельствуют о том, что эти методы в существующем на сети гидрометстанций варианте не лишены и систематических погрешностей. Так, испарители ГГИ-500-50 в подзоне хвойных лесов занижают испарение на 5-7%, в подзоне лиственных лесов и в лесостепной зоне на 10%, в степной – на 15-20%, а в пустынной - до 50% измеренного значения. Метод теплового баланса, наоборот, примерно на столько же завышает значения испарения. В зоне пустынь рассчитанные этим методом значения испарения могут превышать годовые суммы осадков.

Актуальность предлагаемого исследований вытекает из практики возделывания хлопчатника при капельном орошении. Из опытных данных УзНИИХ и САНИИРИ известно, что при этом способе орошения достигается экономия оросительной воды в размере 30-50%. Однако, остается

недостаточно обоснованной такая большая экономия воды. Если считать, что площадь листовой поверхности хлопчатника при бороздковом поливе и при капельном орошении примерно одинакова, то главной составляющей экономии воды должно стать физическое испарение.

Направление на снижение объёма физического испарения актуально так же с экологической точки зрения: - снижение поступления водяного пара (главного парникового газа) способствует борьбе с потеплением климата.

2.1. Теоретические основы испарения влаги с орошаемой почвы

Испарение с суши наряду с осадками является одним из основных факторов формирования ресурсов пресных вод на континентах. Именно испарение - единственный общий элемент в уравнениях водного и теплового балансов. Большое разнообразие ландшафтов на континентах, своеобразие процесса испарения с них обусловили различие методологических подходов к его изучению.

В данном разделе использованы материалы по испарению, приведенные в коллективной монографии «Методы изучения и расчета водного баланса» Госкомгидромета и ГГИ [55], ФАО и в других источниках.

Обычно различают испарение непосредственно с поверхности почвы (физическое испарение), испарение с растительного покрова (транспирация) и суммарное испарение, включающее транспирацию и физическое испарение. Различают также испаряемость - испарение с оптимально увлажненного участка суши при условии мгновенной компенсации влаги в почве по мере расходования ее на испарение. Кроме того, в зависимости от поставленной задачи в гидрологии выделяют фоновое испарение (среднее взвешенное по территории) и испарение с конкретных поверхностей - сельскохозяйственных угодий, леса, болот, естественного разнотравья, снега и т. п.

Первые попытки определения испарения с суши относятся к XVII в. Основные физические принципы описания этого процесса были заложены лишь на рубеже XIX-XX вв. Работы, посвященные этому вопросу, можно разделить на семь групп.

В первой группе работ испарение с суши связывается с режимом увлажнения почвы. Важным шагом в этом направлении было предложение Коссовича П.С. о трех стадиях испарения [37]. Он показал, что при высоком увлажнении почвы испарение мало зависит от ее влажности. По мере иссушения почвы скорость испарения начинает резко уменьшаться и далее становится мало изменчивой величиной. В более поздних исследованиях Долгова С.И., Лебедева А.В., Рыжова С.К., Богомолова В.З., Колясева Ф.Е., Дерягина Б.Е., Урсулова А.И., Роде А.А. и других [64] были получены зависимости испарения с почвы от испарения с неограниченно увлажненной поверхности и влажности почвы. В настоящее время они используются в различных схемах расчета испарения. В частности, на их основе построены методика Андреенова В.Г., комплексный и тепловоднобалансовый методы, некоторые модификации схемы Пенмана [2, 21, 22, 23, 66, 69].

Во второй группе методов испарение рассматривается как остаточный член уравнения водного баланса участка суши. К третьей группе исследований следует отнести работы, основанные на изучении связи испарения с испаряемостью, осадками и другими элементами водного баланса. В этих работах рассматривается, как правило, фоновое испарение с территории водосборов. К наиболее ранним основным работам этого направления следует отнести исследования Шрайбера и Ольдекопа. Ими на основании анализа данных о водных балансах водосборов были получены уравнения, связывающие испарение с осадками и испаряемостью. В дальнейшем эти исследования получили развитие в работах Тюрка Л. [49], Багрова Н.А. [5], Мезенцева В.С. [50].

В четвертой группе испарение с суши рассматривается как процесс переноса водяного пара от испаряющей поверхности в атмосферу. Это

направление исследований было начато Джефрисом [52], который в соответствии с выводами Тейлора использовал для описания испарения уравнение турбулентной диффузии. В последующем различные варианты решения уравнений турбулентной диффузии были даны Сеттоном О., Будыко М.И., Обуховым А.М., Мониным А.С. и др. [22, 26, 37, 44, 47, 52, 60]. В исследованиях этого направления выделяется подход, основанный на совместном рассмотрении уравнений турбулентной диффузии и теплового баланса. Этот подход позволил разработать теоретически наиболее строгий метод определения испарения - метод теплового баланса.

К этому направлению исследований можно отнести также работы Скворцова А.А. [69], разработавшего оригинальную теорию ярусного обмена в атмосфере и предложившего на ее основе метод измерения испарения с суши в условиях развитого конвективного обмена.

К пятой группе относятся исследования по транспирации растений. Еще в XIX в. считалось, что расход влаги на транспирацию пропорционален приросту биологической массы растений, поэтому большинство работ было посвящено определению так называемых транспирационных коэффициентов. Однако в 90-х годах XIX в. Тимирязевым К.А. было показано, что транспирация растений в обычных условиях значительно превышает действительную потребность растений в воде и является скорее «физическим злом, чем необходимым физиологическим отправлением растений». На основании ряда опытов Ливингстон пришел к выводу, что механизм транспирации связан с режимом работы устьиц и состоянием водонасыщения листьев. Алпатьев А.М. [1] показал, что даже в условиях оптимального увлажнения почв постоянство коэффициентов водопотребления (или транспирации) возможно только в условиях стабильного климата, плодородия почв, сорта культур и т. п. Урожай культур определяется прежде всего условиями питания растений, а транспирация - климатическими условиями, возрастными и сортовыми особенностями культур, степенью увлажнения и аэрации почв. Им было введено понятие «биологической

кривой водопотребления» (или биологического коэффициента), характеризующей связь транспирации или суммарного испарения с метеорологическими условиями. Этот подход в настоящее время широко применяется при разработке биоклиматического метода, в работах Константинова А.Р. [36] и др.

Шестая группа методов получила свое развитие на основании использования данных сети аэрологических пунктов наблюдений. В ней испарение определяется как остаточный член уравнения водного баланса атмосферы по разности между выпадающими на территорию осадками, атмосферным стоком влаги (приход минус отток водяного пара) и изменением влагосодержания в массе воздуха над рассматриваемой территорией.

Седьмая группа методов основана на установлении эмпирических связей между испарением и гидрометеорологическими элементами. К ней относятся работы Майера, установившего связь между месячными значениями испарения и температурой воздуха, Кузина П.С., Полякова С.В. [40, 41]. Из других работ можно выделить работы Рыкачева, Блейни-Криддла, Торнтвейта.

В соответствии с рассмотренными семью группами направлений исследований испарения с суши развивались и экспериментальные методы его определения.

Впервые испарение с суши экспериментально было определено методом водного баланса изолированного объема почвы - методом испарителей-лизиметров. Одной из ранних его конструкций является испаритель Рыкачева, представляющий собой металлический ящик, плотно входящий в футляр, устанавливаемый в грунт. В ящик вставлялся монолит почвы с дерном. Скорость испарения определялась по изменению массы монолита. Недостатком испарителей Рыкачева являлось сплошное дно, а также отсутствие поддона и водосборного сосуда, что при избытке осадков приводило к скоплению влаги в почвенном монолите и искажению результа-

тов. Попов В.П. усовершенствовал этот испаритель путем замены сплошного дна сетчатым. В дальнейшем работами Урываева В.А., Пушкарева В.Ф., Струзера Л.Р. [79, 71, 72, 76] в СССР были разработаны конструкции весовых почвенных испарителей ГГИ-500, на базе которых создана обширная сеть почвенно-испарительных станций, насчитывающая более 160 пунктов наблюдений, и гидравлических испарителей малой модели, позволяющих регистрировать суточные значения испарения.

В 1950г. во ВНИГЛ был создан и установлен для измерения испарения с суши большой гидравлический испаритель с почвенным монолитом площадью испаряющей поверхности 5 м^2 и глубиной 2,5м. Погрешность регистрации изменения веса составляет 0,01мм. Конструкция его предусматривает измерение не только испарения, но и поверхностного стока, инфильтрации, влажности почвы, уровня верховодки и т. п.

Лизиметры, в отличие от испарителей, снабжены специальными устройствами для поддержания в них определенного режима уровней грунтовых вод. Наиболее ранние конструкции их представляли собой бак, заполняемый почвой. Внутри бака помещалась труба, через которую производился долив воды и измерение ее уровня. В дальнейшем для обеспечения автоматического поддержания уровня воды в лизиметрах стали применять различные устройства типа сосудов Мариотта, карбюраторов и т. п.

Современное развитие конструкций испарителей и лизиметров идет по пути увеличения площади испаряющей поверхности, повышения точности определения измерения массы монолита, применения дистанционных методов взвешивания и создания систем автоматического регулирования положения грунтовых вод в соответствии с их режимом на окружающей территории.

С появлением пунктов наблюдений за осадками и стоком стало возможным применение для расчетов испарения с суши уравнений водного баланса речных бассейнов.

В результате развития теории турбулентной диффузии широкое применение получили градиентные методы экспериментального определения испарения с суши. В СССР была создана специальная сеть теплобалансовых станций, насчитывающая более 80 пунктов, где ведутся регулярные наблюдения за испарением и другими составляющими теплового баланса. Данные этой сети наряду с почвенно-испарительной сетью служат основным фондовым материалом для оценки режима испарения по территории и разработки новых методов его расчета.

На зависимости транспирации растений от их биологической массы основан метод срезки растений, или быстрого взвешивания. Согласно, этому методу вначале определяется расход воды на транспирацию по изменению массы срезанного растения или его части. Далее рассматривается расход воды на единицу биомассы. Этот метод нашел широкое распространение среди физиологов. Однако, как показано в работе Слейчера Р. [70], скорость транспирации после срезки растений существенно меняется, а надежность его становится сомнительной, поэтому в гидрологической практике этот метод практически не используется.

Выполненный в ГГИ Кузьминым П.П. и другими анализ существующих методов определения испарения с суши позволил отобрать из огромного разнообразия различных схем наиболее обоснованные, изложение которых дано в рекомендациях [44]. Эта работа наиболее полно и объективно освещает современное состояние отечественных методов определения испарения с суши.

2.1.1. Методы измерения испарения с суши

К ним отнесены методы водного баланса территории, водного баланса изолированного монолита, турбулентной диффузии, теплового баланса, водного баланса атмосферы.

Метод водного баланса участка суши. Расчет среднего многолетнего годового испарения с поверхности речных водосборов методом водного баланса производился с конца прошлого века. По мере повышения гидрометеорологической изученности возрастала надежность карт норм годовых сумм осадков и стока, которые строились на основе все увеличивающегося числа пунктов наблюдений. Качественный скачок в повышении надежности этого метода произошел в конце 1960-х годов в связи с разработкой в СССР методики корректировки осадков, измеренных осадкомером Третьякова, и методики приведения к показаниям этого прибора данных предшествующих длительных измерений с помощью дождемера.

Оценка испарения с сельскохозяйственных полей и угодий для вегетационного периода по отдельным месяцам осуществляется по уравнениям:

$$E = P + (M_{нач} - M_{кон}) - Q_{скл. пов} \quad (2.1)$$

при глубоком залегании грунтовых вод и

$$E = P + (M_{нач} - M_{кон}) - Q + \mu (h_{нач} - h_{кон}) \quad (2.2)$$

при близком залегании грунтовых вод.

Здесь E - суммарное испарение; P - осадки; $M_{нач} - M_{кон}$ - запасы влаги в почвогрунтах зоны аэрации в начале и конце расчетного интервала времени; $Q_{скл. пов}$ - склоновый сток; Q - сток; μ - коэффициент водоотдачи или недостатка насыщения; $h_{нач} - h_{кон}$ - глубина залегания уровня грунтовых вод в начале и конце расчетного интервала времени.

Уравнение (2.1) может использоваться только при глубоком (не менее 5м) залегании грунтовых вод, когда элементами вертикального влагообмена между зонами аэрации и грунтовыми водами можно пренебречь. Для

определения склонового стока на рассматриваемом участке оборудуется стоковая площадка.

В случае, когда выпадающие осадки не образуют поверхностного стока, уравнение (2.1) упрощается и может быть записано в виде

$$E = P + (M_{нач} - M_{кон}). \quad (2.3)$$

Глубина слоя почвогрунта, в котором измеряются влагозапасы, обычно составляет 1-1,5м в лесостепной и степной и 3м в полупустынной и пустынной зонах.

Уравнение (2.2) применяется для случаев близкого залегания водоупора, когда на изучаемом участке можно построить водно-балансовую площадку [53], позволяющую измерять склоновый и грунтовый сток, а также изучать режим уровней грунтовых вод. Перед наблюдениями на воднобалансовой площадке определяется коэффициент водоотдачи почвогрунтов. Наблюдения за динамикой влаги в зоне аэрации производятся в этом случае до уровня грунтовых вод.

В качестве расчетного интервала времени при определении испарения по уравнениям (2.1) - (2.3) обычно принимается месяц или декада. При достаточно точном определении исправленных осадков в условиях однородных почв и равномерного выпадения осадков погрешность определения влажности почвы, равная 15-20%, обеспечивается при четырехкратной повторности отбора проб почвогрунтов.

Метод водного баланса изолированного почвенного монолита. В настоящее время этот метод является наиболее простым и доступным способом экспериментального определения испарения с почвы и растительного покрова (за исключением леса). Он включает в себя методы почвенных испарителей и лизиметров.

Метод почвенных испарителей состоит в том, что испарение E с почвы между сроками наблюдений определяется как остаточный член уравнения

водного баланса почвенного монолита, помещенного в испаритель, с учетом выпавших P и просочившихся I через монолит осадков по формуле

$$E = P + (M_{нач} - M_{кон}) - I/A \quad (2.4)$$

где A - площадь испаряющей поверхности испарителя, см^2 ; $M_{нач}$ - $M_{кон}$ - влагосодержание монолита на начало и конец расчетного интервала времени; величины E , $M_{нач}$, $M_{кон}$, P выражаются в мм слоя воды, а объем просочившейся воды I в см^3 .

Метод лизиметров отличается от метода почвенных испарителей тем, что в нем источником поступления влаги в монолит являются не только атмосферные осадки, но и подток влаги от поверхности грунтовых вод. Глубина залегания уровня грунтовых вод в монолите лизиметра искусственно создается и поддерживается постоянной или меняющейся в заданном режиме с помощью специальных водорегулирующих устройств. Различают лизиметры с постоянным в течение всего времени наблюдений и переменным уровнем грунтовых вод в их монолитах. На почвенно-испарительной сети станций Госкомгидромета применяются стандартные почвенные испарители ГГИ-500-50 (ГР-25) с площадью испаряющей поверхности 500 см^2 и высотой почвенного монолита 50 см или ГГИ-500-100 (ГР-26) с высотой монолита 100 см^2 . Эти приборы взвешиваются на платформенных весах.

На сети станций используются гидравлические почвенные испарители малой модели ГПИ (ГР-17) с площадью испаряющей поверхности 2000 см^2 и высотой монолита 150 см, а при близком залегании уровней грунтовых вод - взвешиваемые лизиметры ГР-80 с площадью испаряющей поверхности 2000 см^2 и с постоянным уровнем грунтовых вод. Последние выпускаются в различных модификациях для уровней 0,5; 1,0; 1,5; 2,0 и 2,5 м от поверхности монолита.

Кроме этих основных приборов в практике экспериментальных исследований применяются и нестандартные испарители - лизиметры. К ним относятся большой гидравлический испаритель (БГИ); почвенные испарители площадью 0,1; 0,2; 0,3 и 1,0м² и глубиной грунтовых вод от 0,3 до 2,0м; невзвешиваемые лизиметры системы ВСЕГИНГЕО площадью 1,0м², а также насыпные невзвешиваемые лизиметры с большой площадью испаряющей поверхности (до 25м²) различной глубины. Известен вариант модернизации ГПИ (ГР-17) путем установки в нем подпитывающего устройства от лизиметров ГР-80.

Для определения суммарного испарения и транспирации леса на Валдае применяются испарители, установленные на тележках с монолитом почвогрунта площадью 3м² и высотой 1,5м. Испарители взвешиваются на специальных гидравлических весах, доставка их к весам осуществляется по рельсовому пути.

Основными причинами некоторого несоответствия показаний испарителей и лизиметров испарению с окружающей территории являются:

- 1) отсутствие учета поверхностного стока;
- 2) различие значений прихода радиационного тепла и осадков на единицу поверхности испарителя и окружающего прибор поля за счет неодинаковых густоты стояния и развития растений в монолите прибора и на окружающей территории, а также за счет нарушения агрофона вокруг приборов;
- 3) дополнительный приток (или отток) тепла в почвенный монолит за счет передачи тепла по стенкам корпуса испарителя и теплообмена с окружающим монолитом грунтом, приводящий к искажению температурного режима почвогрунта в приборе. В частности, в засушливой зоне в дневные часы перегрев поверхности почвы в испарителе может достигать 10 °С;
- 4) ограниченность размеров монолита по вертикали, приводящая в условиях иссушения почв к пересушке монолита, а при обильных осадках к его переувлажнению.

Влияние отдельных причин на показания приборов исследовано до сих пор недостаточно полно. Согласно оценкам различных авторов, в среднем испарители ГГИ-500-50 на разнотравье занижают испарение на 5-7% в подзоне хвойных лесов, на 10 % - в подзоне лиственных лесов и зоне лесостепей, на 15-20% - в степной зоне. Экстраполируя эти данные, можно ожидать, что в полупустынной и пустынной зонах занижение испарения составит 30 % и более. Случайная ошибка определения испарения этим методом составляет 16-23 %.

Результаты специальных исследований показали, что испарители ГГИ-500-50 и ГГИ-500-100 позволяют с достаточной точностью определять испарение с поверхностей, занятых травами и зерновыми. Их использование для измерения испарения с подсолнечника, хлопчатника, сахарной свеклы и капусты не рекомендуется.

На применении метода испарителей или лизиметров основан один из наиболее распространенных и точных способов определения транспирации с помощью двух испарителей. В одном из них произрастают растения, в другом они срезаны. Оба прибора устанавливаются рядом на поле. Разница в их показаниях соответствует транспирации.

Методы, основанные на определении потоков пара в атмосфере. Общие положения теории атмосферной турбулентности. В основу группы методов, основанных на определении потоков пара в атмосфере, положены следующие уравнения:

1) теплового баланса деятельной поверхности, согласно которому радиационный баланс $R_{\text{бал}}$ (поглощенная поверхностью солнечная радиация за вычетом длинноволнового эффективного излучения) расходуется на испарение (LE), турбулентный теплообмен с атмосферой H_a и на поток тепла в почву B ;

$$R_{\text{бал}} = LE + H_a + B, \quad (2.5)$$

где L - скрытая теплота парообразования, кДж/кг; в единицах СИ элементы теплового и радиационного балансов выражаются в кДж/(м²·с); для месячных и годовых сумм - в МДж/м²;

2) турбулентного переноса тепла H_a и влаги E в атмосфере:

$$H_a = -\rho_{\text{возд}} C_{\text{возд}} K_T \delta T / \delta z; \quad (2.6)$$

$$E = -\rho_{\text{возд}} K_E \delta q / \delta z; \quad (2.7)$$

где соответственно $\rho_{\text{возд}}$, $C_{\text{возд}}$ - плотность (кг/м³) и удельная теплоемкость воздуха при постоянном давлении (кДж/кг · °С);* T , q - температура (°С) и удельная влажность воздуха (кг/кг); K_T , K_E - коэффициенты турбулентности для переноса тепла и влаги, м²/с; z - вертикальная координата, м.

Уравнения (2.6) и (2.7) справедливы при отсутствии вертикальных конвективных потоков воздуха, которые возникают в условиях значительного перегрева поверхности (сильно неустойчивая стратификация атмосферы); а также при отсутствии горизонтального тепло- и влагообмена (адвекции).

При стратификации атмосферы, отличной от равновесной, коэффициенты турбулентности для потока количества движения оказываются зависимыми от устойчивости атмосферы и определяются формулой

$$K_u = K_{u\text{равн}} f(R_i) \quad (2.8)$$

где K_u - коэффициент турбулентности для потока количества движения;

$K_{u\text{равн}}$ - коэффициент турбулентности при равновесных условиях в атмосфере;

R_i - число Ричардсона, определяемое по специальной зависимости.

Физический смысл числа Ричардсона заключается в том, что оно характеризует отношение работы сил плавучести к работе, совершаемой за счет динамического перемешивания.

Для определения $f(Ri)$ на основании ряда допущений предложено много различных схем. В частности, такие схемы дали Россби С.Д. и Монтгомери Р.Б., Будыко М.И., Сеттон О.Г., Матвеев Л.Т., Монин А.С. и Обухов А.М., Константинов А.Р. [21, 36, 49, 68]. Однако для средних условий наиболее точной и простой схемой учета влияния стратификации на коэффициент турбулентности считается схема Будыко М.И., усовершенствованная Дубровиным Л.В. Она принята в настоящее время в качестве основной сетевой методики при расчетах составляющих теплового баланса в руководстве [68]. Значительные трудности в теории турбулентной диффузии вызывает вопрос о степени соответствия значений коэффициентов турбулентности для потоков тепла, влаги и количества движения. В ряде работ [21, 22, 49] предполагается их равенство.

Однако данные многочисленных экспериментов, выполненных как в нашей стране, так и за рубежом свидетельствуют о том, что соотношения коэффициентов турбулентности значительно меняются в зависимости от устойчивости атмосферы. Так, Орленко Л.Р. [48] на основании обобщения различных экспериментальных данных приводит зависимость отношения от числа Ричардсона (по Бушу). Леготина С.И. и Орленко Л.Р. [48] считают, что водяной пар в атмосфере можно рассматривать как пассивную примесь и принимают, что $K_E = K_U$. В подтверждение своего мнения авторы приводят результаты довольно тщательных экспериментальных исследований, выполненных Диконом, Суинбеком, Райдером и комплексной метеорологической экспедицией КЭМ-ЭКС-71.

Таким образом, из приведенного обзора состояния исследований в области теории турбулентности следует, что разработанные на ее основе методы определения испарения не универсальны. Ряд используемых при этом положений требует дальнейшей разработки.

Однако применение этой теории для расчетов испарения дает удовлетворительные результаты только при стратификации атмосферы, близкой к равновесной. Такие условия, как правило, наблюдаются в дневное время над обширными, достаточно-увлажненными территориями, т.е. в условиях лесной и лесостепной зон, а при достаточном увлажнении и в степной зоне.

Метод теплового баланса. Этот метод является основным сетевым методом определения составляющих теплового баланса и испарения. Испарение определяется по зависимости (1.9)

$$LE = \frac{R_{\text{бал}} - B}{1 + 0,64\xi \frac{\Delta T}{\Delta E}}, \quad (2.9)$$

где LE – затраты тела на испарение, кДж/(м²·с); $\Delta T = T_1 - T_2$; $\Delta e = e_1 - e_2$; $\xi = \alpha_T / \alpha_E$.

Числовой коэффициент 0,64 получен при условии нормального атмосферного давления p_a , равного 1000 мбар (гПа). При $p_a = 1000$ мбар коэффициент 0,64 следует умножить на отношение $p_a / 1000$.

Радиационный баланс $R_{\text{бал}}$ определяется по данным актинометрических наблюдений.

Поток тепла в почву B рассчитывается по материалам наблюдений за температурой почвы на разных глубинах с учетом влажности почвы или определяется по данным его измерений с помощью тепломеров.

Основным ограничением к использованию уравнения (2.9) для расчетов испарения является следующее: при приближении значения LE к $(-H_a)$ или величины $(R_{\text{бал}} - B)$ к нулю значения испарения выходят за рамки допустимого.

Метод теплового баланса, основанный на определении испарения как остаточного члена уравнения теплового баланса. В его основу положена следующая расчетная формула

$$E = -1/L^{-1}(R_{\text{бал}} - B - H_a) \quad (2.10)$$

Радиационный баланс $R_{\text{бал}}$ определяется по данным актинометрических наблюдений; поток тепла в почву B и турбулентный теплообмен рассчитываются по специальным формулам. Преимущество такого подхода состоит в том, что отпадает необходимость в дополнительных ограничительных условиях.

Пульсационный метод. Этот метод в настоящее время считается единственным прямым методом определения испарения. Согласно этому методу средняя скорость переноса взвешенной в воздухе инертной субстанции (например, водяного пара) в каком-либо направлении равна сумме произведений мгновенных скоростей потока в этом направлении на концентрацию субстанции. В этом случае вертикальный поток пара при условии постоянства его по высоте соответствует испарению.

Широкое применение этого метода, несмотря на четкое физическое обоснование, сдерживается отсутствием простой и надежной аппаратуры для определения пульсаций метеоэлементов (скорости ветра и удельной влажности воздуха). Особую сложность вызывает измерение пульсаций влажности воздуха, поэтому в специальных исследованиях при использовании пульсационного метода чаще определяют турбулентный поток тепла.

Тогда при известных значениях R_a , $R_{\text{бал}}$ и B , испарение определяется как остаточный член уравнения теплового баланса (2.10).

Метод Скворцова А.А. Этот метод существенно отличается от схем расчета испарения, основанных на использовании уравнений турбулентной диффузии. В нем используется закон «ярусного обмена», открытый в 50-х годах Скворцовым А.А. [69].

Сущность закона состоит в том, что в условиях сверхравновесной стратификации атмосферы процесс конвективного теплообмена состоит из последовательного накопления тепла в различных слоях воздуха. Вначале накопление тепла происходит вследствие молекулярной диффузии в тонком

слое у испаряющей поверхности - в первом ярусе. Повышение энергии неустойчивости этого слоя приводит к его разрушению (прорыву).

Накопившееся тепло поступает в следующий ярус, вызывая: в нем в свою очередь возрастание энергии неустойчивости и последующий прорыв. Так осуществляется конвективный теплообмен поверхности с атмосферой.

Поскольку процесс накопления тепла и влаги осуществляется одновременно, то вместе с конвективным теплообменом осуществляется и влагообмен. Тогда определяя с помощью секундомера продолжительность периодов и амплитуду колебаний температур сухого и смоченного термометров аспирационного (малоинерционного) психрометров в приземном и при почвенном ярусах, возможно рассчитать испарение по специальной формуле.

Этот метод не нашел широкого применения из-за ограниченности условий его использования. Он может надежно применяться только в условиях ярко выраженного конвективного тепло- и влагообмена. При средних и сильных ветрах, при пасмурной погоде, когда нагрев поверхности ослаблен, метод дает ненадежные результаты.

Метод определения испарения по уравнению водного баланса атмосферы. В последние десятилетия интенсивно развиваются исследования влагооборота в атмосфере, основанные на изучении динамики полей влажности и ветра над изучаемой территорией на разных высотах. Результаты этих исследований опубликованы в работах Дроздова О.А., Григорьевой С., Сорочан О.Г., Кузнецовой Л.П., Черновой Н.П. [30, 29, 34, 32, 33, 42, 43] и др. Одним из прикладных аспектов этих исследований является количественная оценка испарения (или разности величин испарения E и осадков P) за расчетный интервал времени в среднем над изучаемой территорией.

Составляющие водного баланса - разность осредненных по площади значений содержания пара в исследуемом слое атмосферы в начале и в конце

расчетного периода и результирующий поток водяного пара в атмосфере - рассчитываются по данным стандартных аэрологических наблюдений, производящихся только на уровнях 1000, 850, 700, 500 и 400мбар, которые, как правило, не дают достаточно надежных вертикальных профилей, необходимых для расчетов баланса водяного пара. В большинстве случаев граница естественного гидрологического объекта, например водораздельная линия речного бассейна, не совпадает с размещением аэрологической сети, что вносит дополнительные погрешности в результаты расчетов испарения этим методом. Ниже стандартного уровня наблюдений 500 и 400мбар в атмосфере сосредоточено не все 100 % водяного пара атмосферы, что также обуславливает неизбежные погрешности расчетов. В связи с этим исследования и расчеты испарения указанным методом могут быть выполнены в большинстве случаев с приемлемой точностью лишь для больших территорий и достаточно длительных интервалов времени.

Расчетные методы определения испарения. К расчетным методам определения испарения можно отнести методы, основанные на использовании сетевой гидрометеорологической информации, т. е. данных наблюдений на метеорологических, агрометеорологических и гидрологических станциях. В настоящее время имеется много способов расчета испарения. Наиболее распространенные в практике расчетов испарения и теоретически наиболее обоснованные методы приводятся ниже.

Методы, основанные на уравнениях связи. В основу построения уравнений положена связь годовых сумм испарения E от количества выпадающих осадков P . При значительных осадках испарение ограничивается возможным притоком тепла к поверхности, а при малых осадках - наличием влаги в почве.

Впервые уравнение связи было получено Шрайбером в начале XX в. в виде

$$E = P [1 - \exp(-E_0/P)] , \quad (2.11)$$

где E , P , E_0 - годовая норма соответственно испарения; осадков, испаряемости.

Независимо от Шрайбера аналогичное уравнение было получено Э.М.Ольдекопом

$$E = E_0 \text{ th } P/E_0 . \quad (2.12)$$

Он дал и теоретическое обоснование вида и граничных условий этой зависимости. Под испаряемостью, или максимально возможным испарением при тех же метеорологических условиях, Ольдекоп понимал испарение с водной поверхности, определяемое по данным наземных водных испарителей.

Анализируя эти уравнения, Будыко М.И. [21] нашел, что в наилучшем согласии с действительным испарением находится величина, рассчитываемая как среднее геометрическое из приведенных уравнений. Он также показал, что принимать в качестве испаряемости испарение с водной поверхности не совсем корректно, так как вследствие более высокой шероховатости поверхности суши испарение с нее может быть больше испарения с воды. Для оценки испаряемости он предложил использовать в этом уравнении водный эквивалент радиационного баланса увлажненной поверхности

$$E_0 = R_0/L, \quad (2.13)$$

Значительное внимание развитию метода уравнений связи уделено в работах В.С.Мезенцева. Предлагаемые расчетные схемы им названы методом гидролого-климатических расчетов (ГКР).

Величина E_0 у Мезенцева В.С. [50] существенно отличается от общепринятого определения испаряемости. Под E_0 (мм) он понимает «теплоэнергетические ресурсы испарения», которые представляют собой сумму положительных (направленных к поверхности почвы) частей

радиационного баланса $P_{\text{бал}}$, турбулентного теплообмена H_a и B потока тепла в почву (или изменения теплозапасов деятельного слоя почвогрунта).

Мезенцев В.С. получил свою формулу априори, независимо от Тюрка Л., основываясь на логическом анализе процесса испарения, и проверил ее на данных наблюдений гидрометеорологических станций СССР, расположенных в различных климатических зонах. Несмотря на различное толкование эмпирических параметров в методах Тюрка и Мезенцева, можно путем несложных преобразований показать их идентичность.

Широкое их распространение обусловлено тем, что структура лежащих в их основе расчетных формул является достаточно гибкой для описания зависимости $E/E_0 = f(P/E_0)$ путем подбора численного значения параметра n , наилучшим образом соответствующего эмпирическим данным.

Методы, основанные на использовании зависимости испарения от влажности почвы. Эта группа методов в связи с более строгим теоретическим обоснованием в последние два десятилетия находит все большее применение. В основу ее положены зависимости вида

$$E/E_0 = f(M), \quad (2.14)$$

Наиболее простым, доведенным до практического использования является комплексный метод. Он применим для расчета месячных сумм фонового испарения, т.е. среднего с территорий без разделения по отдельным видам поверхностей. В основу этого метода положено предположение, что в пределах от влажности завядания до некоторого значения критических влагозапасов $M_{кр}$ испарение линейно зависит от средних влагозапасов M в верхнем метровом слое почвогрунта.

Для нахождения испаряемости, определяемой через тепловой баланс увлажненной поверхности, авторами метода построены удобные графические зависимости, связывающие испаряемость с условным дефицитом влажности воздуха. Под последним понимается дефицит влажности, рассчитываемый по средним месячным значениям температуры и влажности воздуха.

В зарубежной практике для расчетов испарения широкое применение нашел метод Пенмана Х.Л. Для учета влияния увлажнения почвы на испарение при наличии растительности Пенман Х.Л. предлагает пользоваться следующим упрощенным приемом. При дефиците влажности почвы, меньшем некоторой величины, названной «корневой константой» и зависящей от вида и фазы развития растений, испарение принимается равным испаряемости. При дальнейшем иссушении почвы на каждые 25мм испарение уменьшается на $0,1 E_0$. Такой прием является недостаточно корректным, тем не менее он нашел широкое применение при картировании влагозапасов для обслуживания фермеров в Англии.

Близкий подход к расчету испаряемости использовал Будаговский Л.И. [20]. Он предлагает учитывать влияние потока тепла в почву и не ограничиваться учетом только первой производной от формулы Магнуса. Влияние влагозапасов, учитывается с помощью степенной зависимости. Этот метод еще не доведен до практического использования и поэтому не нашел широкого применения.

Расчет испарения воднотеплобалансовым методом Андреенова В.Г., сходным с комплексным методом, предлагается производить, учитывая отдельно осадки, испаряющиеся непосредственно с поверхности водосбора (с поверхности растений и почвы), и осадки, просочившиеся в почву [2]. При этом он полагает, что испарение осадков, задержанных на поверхности растений и почвы, соответствует испаряемости, а просочившихся - пропорционально увлажнению почвы.

Метод Андреенова В.Г. заслуживает внимания тем, что в нем учитывается структура осадков, однако вопрос расчета параметра K_0 и суточных сумм E_0 разработан недостаточно полно. Тем не менее этот метод рекомендован в работе [58] для расчетов текущих водных балансов речных бассейнов.

Полу эмпирические методы расчета испарения. Эта группа методов включает методы, основанные на установлении связей между испарением и

отдельными метеорологическими элементами: температурой и влажностью воздуха, скоростью ветра, осадками и т. п. Из этой группы можно отметить методы Полякова Б.И., Кузина П.С., Майера Р. и др.

В настоящее время из методов этой группы широкое распространение получил метод Константинова А.Р. В его основе лежит выявленная им зависимость вертикальных градиентов температуры и влажности воздуха от смещенных во времени значений этих элементов. Используя уравнения турбулентной диффузии и обширный экспериментальный материал, Константинов получил графические зависимости испарения от исправленных значений температуры и влажности воздуха, а также разработал расчетные таблицы поправок к последним [36]. Эти поправки вводятся для месячных, декадных и суточных значений температуры. При расчетах испарения за год такие поправки не вводятся. Кроме графиков для расчета испарения, Константиновым составлены аналогичные графики для расчета испаряемости, под которой он понимает испарение с оптимально увлажненного луга.

Методы расчета испарения с достаточно увлажненной поверхности. Эта группа методов получила развитие в связи с оценкой условий произрастания растений и обоснованием режима водных мелиораций. Помимо отмеченных выше методов расчета испаряемости Будыко, Пенмана, Мезенцева, Тюрка, Будаговского, Константинова в практике используется еще ряд способов. К ним относятся широко распространенные методы Костякова А.Н., Торнтвейта, Блейни и Криддла А.М. и Алпатьевых С.М., Иванова Н.Н. и др.

Метод Костякова А.Н. основан на использовании транспирационных коэффициентов $K_{тр}$, представляющих собой отношение испарения к урожаю. Испарение в этом методе рассчитывается по формуле

$$E_{opt} = K_{mp}U, \quad (2.15)$$

где U - урожай; E_{opt} - испарение с достаточно увлажненной поверхности поля.

Недостаток этого метода очевиден: в нем не учитывается влияние погодных условий на испарение.

Теоретически более обоснованным является метод Алпатьевых [20], [62]

$$E_{opt} = K_{биол} \cdot \sum d_z, \quad (2.16)$$

где $K_{биол}$ - биологический коэффициент испарения, зависящий от вида растений и суммы температур воздуха, приведенных к 12-часовой продолжительности дня; $\sum d_z$ - сумма средних суточных дефицитов влажности воздуха.

В среднем $K_{биол}$ равняется 0,64. Этот метод был принят Минсельхозом СССР в качестве основного при расчетах режимов орошения в СССР.

Известны также методы Торнтвейта и Блейни и Криддла [17].

Влияние адвективного переноса тепла и влаги на испарение.

Все приведенные выше методы применимы для расчета испарения в условиях больших однородных пространств. Если размеры рассматриваемой территории ограничены, то вследствие трансформации воздушных масс при их движении испарение может существенно отличаться от испарения с однородных территорий. Практическое значение этого явления особенно велико в условиях орошаемых земель и пустынных оазисов, так как за счет адвекции тепла из пустынь на увлажненные территории фактическое испарение может в 2 раза превышать испарение с больших территорий. Это явление в аридных условиях получило название «оазисного эффекта». Учетом его занимались многие исследователи: Яковлева Н.И., Константинов А.Р., Харченко К.И., Горбунова И.Г., Харченко С.И., Вершинин А.П., Сеттон О.Г. [36, 78, 24, 68] и др. Ими разработан ряд формул и построены обобщенные кривые зависимости испарения от размеров увлажненной поверхности.

Сравнительная оценка основных методов определения испарения.

Как считают российские ученые гидрологи, из всех существующих методов измерения испарения наиболее обоснованными и точными являются методы водного баланса изолированного монолита (лизиметры, испарители) и теплового баланса с использованием отношения Боуэна. Если в первом методе инструментальная погрешность определения испарения с монолита относительно мала, то во втором она может достигать 100 % и более (при некоторых сочетаниях градиентов температуры ΔT , влажности воздуха Δe и разности $(R_{бал} - B)$ радиационного баланса $R_{бал}$ и теплопотока в почву B). Однако ошибки метода изолированного монолита, возникающие за счет несоответствия условий испарения в монолите условиям поля (случайность выбора образца монолита, несоответствие окружающего фона, теплового и водного режима, минерального питания растений и т.д.), значительно больше, чем у метода теплового баланса, дающего осредненные по площади значения градиентов метеозлементов и не вносящего существенных искажений в состояние деятельной поверхности. Согласно существующим оценкам, ошибки обоих методов примерно одинаковы и составляют для декадных сумм испарения примерно 15-25%. Наблюдения на орошаемых полях Северного Кавказа и Южного Казахстана показали, что среднее квадратическое расхождение между этими методами составляет около 20 мм в декаду, относительное - 30 %.

Сопоставление случайной погрешности измерения испарения как методами испарителей, так и теплового баланса с естественной вариацией испарения (табл. 2.1) показывает, что в настоящее время они соизмеримы. Это указывает на недостаточно удовлетворительную точность измерений.

Специально выполненные исследования (Вершинина А.П., Виноградова В.В. и Новиковой М.И., 1980) свидетельствуют о том, что эти методы в существующем на сети гидрометстанций варианте не лишены и систематических погрешностей [24]. Так, испарители ГГИ-500-50 в подзоне

Сравнение средних квадратических ошибок основных методов экспериментального определения месячных сумм испарения (по данным П. П. Кузьмина и рекомендациям [61])

Зона	Естественная изменчивость, $c_v, \%$	Среднеквадратическое отклонение, %	
		метод испарителей	метод теплового баланса
Лесная	15-28	16-23	15
Лесостепная	16-50	16-23	15
Степная	27-50	16-23	16
Полупустынная и пустыни	25-74	16-23	25-50

хвойных лесов занижают испарение на 5-7 %, в подзоне лиственных лесов и в лесостепной зоне на 10 %, в степной - на 15-20 %, а в пустынной - до 50 % измеренного значения. Метод теплового баланса, наоборот, примерно на столько же завышает значения испарения. В зоне пустынь рассчитанные этим методом значения испарения могут превышать годовые суммы осадков.

Будаговский А.И. предложил формулу для определения скорости движения подвешенной влаги при испарении [20]

$$Q = \gamma(W - W_p), \quad (2.17)$$

где Q – скорость притока воды к поверхности почвы при её влажности, равной W , мм/сут;

W_p – влажность разрыва капиллярной связи, % об;

γ – коэффициент пропорциональности, 1,5-0,7 мм/сут.

Как считает автор, более удовлетворительной, чем приведенная, зависимости для определения скорости движения воды в почве при испарении не предложено (на период до 1964г.).

На этом основании Будаговский А.И. предложил теоретическую зависимость для определения испарения с поверхности некоторой (оголенной) почвы

$$E = \frac{E_0}{1 + \beta \frac{Dn}{D}} \quad (2.18)$$

в которой

$$\beta = \frac{(\lambda + \rho_a A_m \delta \eta_n L \varphi') C_p}{(C_p + L \varphi') \lambda A_m \delta \eta_n} \quad (2.19)$$

здесь E – испарение из почвы;

E_0 – испаряемость;

D_n – коэффициент скорости обмена между поверхностью почвы и высотой Z_n ;

λ – коэффициент теплопроводности почвы;

ρ_a – плотность воздуха;

A_m – коэффициент молекулярной диффузии водяного пара в почве;

$\Delta \eta$ – свободная пористость, равная разности между полной пористостью и влажностью присохшего слоя почвы;

L – скрытая теплота испарения;

φ' – производная от насыщающей влажности воздуха по температуре;

C_p – удельная теплоёмкость воздуха.

М.И. Будыко разработал упрощенную теоретическую схему испарения воды почвой и на её основе получил зависимость [23]

$$E = \frac{E_0}{\sqrt{1 + \frac{2DnE_0t}{(W_H - W_r)A_m}}}, \quad (2.20)$$

в которой E_0 – испарение со свободной водной поверхности;

$$Dn = \frac{Ar_1}{\frac{Ar_1 Z_m}{Am} + \ln \frac{Z_1}{Z_m + \frac{Am}{Ar_1}}}, \quad (2.21)$$

t – время;

W_H – начальная влажность почвы, принимаемая равной максимальной молекулярной влажности;

W_r – гигроскопическая влажность почвк, устанавливающаяся в просохшем слое;

Ar_1 – коэффициент турбулентности на высоте Z_1 ;

Z_m - толщина подслоя молекулярной диффузии у поверхности почвы;

\ln – символ натурального логарифма.

При выводе формулы сделаны допущения: отсутствие притока воды к нижней границе просохшего слоя; стабильность метеоусловий во время испарения и др.

В работе Нильсена и Кутилека приведены результаты исследований зарубежных и российских авторов по определению испарения с оголенной почвы: Гарднера, (Gardner, 1958), Уорика (Warrick, 1988), Хадаса и Хиллеля (Hadas, Hillel, 1972), Кутилека (Kutelek, 1978) и др.

В этих работах рассматриваются вопросы установившегося и неуставившегося испарения, испарения из однородной и слоистой оголенной почвы.

Во многих странах мира для расчетов суммарного испарения (эвапотранспирации) получили распространение материалы ФАО. Последний материал – ФАО Irrigation vand Drainage Paper № 56, (ФАО-56) одобренный в мае 1990г. Международным конгрессом по ирригации и дренажу и Всемирной метеорологической организацией, содержит рекомендации по расчету эвапотранспирации с посевов основных, выращиваемых на орошаемых землях планеты, сельскохозяйственных культур - продовольственных и технических.

Согласно ФАО-56, эвапотранспирация подразделяется на эталонную, при стандартах и нестандартных условиях (водный стресс) эвапотранспирации.

Использование апробированного во многих странах мира метода расчета эвапотранспирации для определения испарения (эвапорации) обосновывается тем, что эвапотранспирация состоит из двух составляющих транспирации и испарения –

$$ET_0 = ET_T + ET_n,$$

из которых только транспирация сельскохозяйственной культуры может быть определена известным инструментальным методом.

Исходя из того, что ET_0 рассчитывается по методу Пенмана-Монтейта, испарение из почвы (ET_n) может быть рассчитано по разнице между суммарным испарением и транспирацией.

Суммарное испарение (ET_0) определяется по формуле Пенман-Монтейта

$$ET_0 = \frac{0,408\Delta(R_A - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} u_2 (es - en)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34u_2)}, \quad (2.22)$$

где R_n – прямая радиация на поверхность посева;

G – отраженная радиация;

T – температура воздуха на высоте 2 м;

u_2 – скорость ветра на высоте 2 м;

$es - ea$ – дефицит давления насыщающего пара;

Δ – угол наклона кривой давления пара;

γ – психометрическая константа.

Для определения суммарного при стандартных условиях испарения (ET_c) ФАО-56 предложена зависимость

$$ET_c = (K_{cb} + K_c) ET_0, \quad (2.23)$$

где $K_{св}$ - коэффициент посева;

K_c - коэффициент испарения.

Как видно, ET_c состоит из двух компонентов: транспирационного и испарения из которого испарение (E) может быть определено по зависимости

$$E=K_c ET_o, \quad (2.24)$$

Коэффициент испарения определяется по зависимости

$$K_c=K_r(K_{c \max}-R_{св}) \leq f_{сw} K_{c \max}, \quad (2.25)$$

где K_r – понижающий коэффициент, зависящий от глубины промачивания (или иссушения) верхнего слоя почвы;

$K_{c \max}$ - максимальное значение K_c после дождя или полива;

$f_{сw}$ - часть поверхности почвы, из которой больше испарилось влаги.

Порядок расчета коэффициента испарения K_c по ФАО-56

1. Рассчитывается максимальная величина $K_{c \max}$ (коэффициент культуры – $K_c=K_{св}+K_c$) -

$$K_{c \max} = \max(\{1, 2 + [0.04(u_2 - 2) - 0.004(RH_{\max} - 45)](\frac{h}{3})^{0.3}\}), \quad (2.26)$$

где u_2 – скорость ветра на высоте 2 м; $1 \text{ м/с} \leq u_2 \leq 6 \text{ м/с}$;

RH_{\min} – среднее значение суточной минимальной влажности воздуха для середины или конца сезона, $20\% \leq RH_{\min} \leq 80\%$;

h – средняя высота растения в течение середины или конца сезона для $20\% \leq RH_{\min} \leq 80\%$.

2. Для каждого дня периода роста определяется: (f_c)

- участок почвы, покрытый растительностью (f_c). Он выбирается в зависимости от стадии роста культуры: при начальной стадии - 0-0,1; стадии развития культуры - 0,1-0,8; стадии середины сезона 0,8-1,0; стадии конца сезона – 0,8-0,2.

- участок поверхности почвы, увлажненной орошением или осадками (f_w). Он выбирается в зависимости от способа и особенности технологии полива: для бороздкового полива с подачей воды в каждое междурядье и узкими междурядьями - 0,6-1,0; с широкими междурядьями - 0,4-0,6; при поливе по чередующимся бороздам - 0,3-0,5.

- участок поверхности почвы, с которой происходит обильное испарение (f_{cw}). Он рассчитывается по зависимостям

$$f_{cw} = \min(1 - f_c) \text{ или} \quad (2.27)$$

$$f_{cw} = \min f_w;$$

- кумулятивный расход воды в мм с испаряющего слоя почвы (De, i), определяемый по зависимости

$$De, i = De, i-1 - (Pi - Roi) - \frac{Ji}{f_w} + \frac{Ei}{f_{cw}} + T_{ew, i} + DPe, i, \quad (2.28)$$

где $De, i-1$ – испарение после увлажнения с открытого и увлажненного участка поверхности почвы на конец предыдущего дня $i-1$;

De, i – то же, на конец дня i ;

P_i – осадки за день i ;

R_{oi} – сток осадков с поверхности почвы за день i ;

J_i – объём впитавшейся воды в почву за день i ;

E_i – испарение на день i ($Ei = K_e ET_0$);

$T_{ew, i}$ – испарение с открытого и увлажненного участков поверхностного слоя почвы на день;

$D_{Pe,i}$ - потери воды на глубокое просачивание на день i , если влажность почвы больше ППВ;

- коэффициент снижения испарения K_r , определяемый по зависимости

$$K_r = \frac{TEW - D_{e,l-1}}{TEM - REW} \quad \text{для } D_{e,i-1} > REW, \quad (2.29)$$

где TEW – максимальное накопительное испарение с поверхностного слоя почвы, где $K_r = 0$, мм;

REW – накопительное испарение на конец начальной стадии 1, мм.

- коэффициент испарения из почвы K_e , определяемый по зависимости

$$K_e = K_r (K_{c \max} - R_{св}) \leq f_{св} K_{c \max} \quad (2.30)$$

В этой зависимости коэффициент $K_{св}$ означает «коэффициент культуры», который зависит от стадии (фазы) роста и развития культуры. Так, для хлопчатника в фазу бутонизации $K_{св}$ принимается равным 0,15, в фазу цветения-плодообразования - 1,10-1,15, в фазу созревания - 0,5-0,4.

Для определения испарения влаги с поверхности засеваемой почвы необходимо коэффициент испарения умножить на значение эталонной эвапотранспирации, т.е.

$$E = K_e ET_0 \quad (2.31)$$

Для расчета ET_0 в Узбекистане имеется компьютерная программа «Cropwat».

Таким образом, величина испарения влаги с хлопкового поля может быть определена по широко апробированной во многих странах мира методике ФАО.

Что касается измерения испарения, то наиболее доступным в полевых условиях является метод монолитов. Нам представляется целесообразным провести полевые исследования испарения с хлопкового поля с использованием этого метода и сравнить их результаты с расчетными данными, полученными при использовании программы «Cropwat».

Полученные многолетние полевые данные по испарению будут использованы для корректировки расчетного метода ФАО и для сравнения с расчетными данными собственной математической модели испарения.

Вместе с тем, Хенкс Р.Дж. и Ашкрофт Дж.Л. [79] утверждают, что метод Пенмана представляет собой комбинацию энергобалансового и аэродинамического методов. При выводе известной формулы Пенманом сделаны некоторые допущения в отношении учета энтальпии воздуха и плотности теплового потока.

При анализе этого метода упомянутые авторы делают вывод, что хотя метод имеет достаточное физическое обоснование, но с его помощью определяется потенциальное испарение с открытой водной поверхности (испаряемости).

Если этот вывод подтвердится соответствующими расчетами, то тогда в формуле (2.32) вместо ET_0 можно будет использовать испаряемость, определяемую по известным в отечественной гидрологии зависимостям.

Как известно, эвапотранспирация сельскохозяйственного посева состоит из суммы транспирации и испарения. Когда имеются данные урожайности (продуктивности) сельскохозяйственной культуры (Pc), приросту сухого вещества надземной массы растений (f) и средней скорости потенциального испарения с водной поверхности (Er), по формуле Девида можно определить транспирацию

$$T_r = \frac{PcEr}{f}, \quad (2.32)$$

а затем, по разнице между эвапотранспирацией и транспирацией определить величину испарения [79].

Приведенный метод расчета испарения с использованием эталонной эвапотранспирации или испаряемости, очевидно, позволяет с достаточной точностью определить испарение, но в нем (формула 2.32) коэффициент пропорциональности нельзя считать истинным коэффициентом испарения.

Этот коэффициент должен отражать долю испарения в суммарном испарении, которое в методике ФАО-56 названо стандартной эвапотранспирацией (ЕТс). В связи с этим нами предлагаются следующая зависимость

$$E = K_{\text{исп}} \text{ЕТс}, \quad (2.33)$$

где $K_{\text{исп}}$ – коэффициент испарения, б/р;

E – испарение, ЕТс стандартная эвапотранспирация, определяемая по зависимости

$$\text{ЕТс} = (K_{\text{св}} + K_{\text{с}}) \text{ЕТ}_0. \quad (2.34)$$

Из уравнения $\text{ЕТс} = E + \text{ЕТ}_{\text{тр}}$ (2.35)

Можно определить размер транспирации, а затем и его долю в суммарном испарении – транспирационный коэффициент $K_{\text{тр}} = \text{ЕТ}_{\text{тр}} / \text{ЕТс}$.

Суммарное испарение хлопчатника и его компоненты – физическое испарение и транспирация, в течение нескольких лет в САРНИГМИ измеряли методом теплового баланса. Так, в исследованиях на ГСМ «Бозсу», расположенной в северной части Ташкента, на тяжелосуглинистом типичном сероземе, среднее за три года (1963-1965гг.) суммарное испарение составило 745 мм при режиме поливов 70-70-60% НВ и 647 мм при поливах по схеме 1-4-1 [56]. В первом случае физическое испарение составило 37,6%, во втором 38,3%. В отдельнке годк при режиме поливов 70-70-60% НВ физическое испарение составило 61%.

В исследованиях САРНИГМИ изучалось влияние габитуса, биомасск и листовой поверхности хлопчатника на затененность почвы. По данным Ф.А.

Муминова нами получены зависимости затененности почвы от биомассы хлопчатника

$$Nn=10,5m^2+62,9m, \quad R^2=0,97 \quad (2.36)$$

и от относительной площади листьев

$$Nn=46,84\omega-6,27 \omega^2, \quad R^2=0,97. \quad (2.37)$$

Здесь Nn – затененность почвы, %;

m – биомасса хлопчатника, кг/м²;

ω – относительная площадь листьев.

По данным полевых исследований Ф.А.Муминовым получена линейная зависимость урожайности хлопчатника (Y , ц/га) от степени затененности почвы

$$Y=0,4 Nn - 1,5, \quad R=0,93. \quad (2.38)$$

Затененность почвы растительным покровом существенно влияет на температуру почвы. Средняя за межполивной период или за каждую фазу развития хлопчатника температура поверхности почвы может быть выражена зависимостью

$$Tn = aN_n^x, \quad (2.39)$$

где a и x – параметры.

Так, Ф.А.Муминова приводит такие данные по температуре поверхности почвы хлопкового поля: в период «всходы-бутонизация» средняя температура почвы составила 28 °С; в период «бутонизация-цветение» - 28,2 °С; в период цветения (первая половина) – 22,9 °С; (вторая

половина) - 17,8 °С; в период «раскрытие первых коробочек-заморозок» - 12,9 °С. Эти данные получены на ГСМ «Бозсу» при выращивании хлопчатника сорта 108-Ф с междурядьями 60см. Как видно, с ростом и развитием хлопчатника затененность почвы увеличивается и поэтому её температура уменьшается, соответственно уменьшается физическое испарение влаги.

На основе проведенного анализа выявляется цель исследований по данному проекту, которая заключается в определении физического испарения с хлопкового поля (E).

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- определить стандартную эвапотранспирацию путем закладки полевых опытов с хлопчатником при разной ширине междурядий;
- расчетным путем, с помощью компьютерной программы «Cropwat» определить эвапотранспирацию для условий полевых опытов;
- определить истинный коэффициент испаряемости;
- разработать математическую модель испарения с оголенной почвы;
- сопоставить результаты полевых опытов по испарению с расчетными по программе «Cropwat» и теоретической математической модели.

2.2. Условия и методика исследований

2.2.1. Климатические условия объектов исследований

Ташкентская область. Погодные условия объекта в Ташкентской области характеризуются показателями метеопункта «Аккавак». Характерной особенностью климата является наличие сильной ветровой деятельности. Наиболее сильно и часто она отмечается в осенне-зимний и весенние периоды. Наиболее распространены ветры северо-восточных румбов, дующие с гор. На долю ветров указанного направления приходится 59%, остальные 41% - на все другие направления.

В отчетном году отмечалась следующая метеорологическая обстановка (таблица 2.2).

Таблица 2.2

Метеорологические данные за 2012г.
(данные метеопункта «Аккавак»)

Декады	Месяцы								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Температура воздуха, С ⁰									
I	-1,5	-5,4	5,6	18,5	20,0	25,8	28,5	27,1	22,6
II	0,3	0,4	3,6	20,1	19,9	27,1	27,5	29,7	20,8
III	-0,2	1,0	12,0	19,2	23,6	25,4	27,0	26,0	21,4
Ср. за декаду	-0,4	-1,4	7,2	19,2	21,3	26,1	27,7	27,5	21,6
Ср.многолет.	0,2	2,4	8,0	14,8	20,1	25,4	27,2	25,4	20,0
Атмосферные осадки, мм									
I	61,6	171,5	23,5	27,8	4,8	1,6	-	-	-
II	19,9	33,6	197,8	14,6	10,9	-	-	-	-
III	194,7	14,6	11,5	15,7	-	38,7	2,8	-	-
Всего за декаду	276,2	219,7	232,8	58,1	15,7	40,3	2,8	-	-
Ср.многолет.	59,2	72,9	85,7	72,8	40,3	11,6	4,2	2,6	5,0
Относительная влажность воздуха, %									
I	74	78	70	56	62	53	56	55	58
II	85	80	83	55	66	53	55	58	61
III	69	68	57	74	58	62	61	62	63
Сред. за декаду	76	76	70	61	62	56	57	58	60
Ср.многолет.	59	61	62	61	55	44	44	47	48
Сумма эффективных температур, С ⁰									
I	-	-	-	84	100	158	185	171	126
II	-	-	-	101	99	171	175	197	108
III	-	-	-	92	160	154	197	160	94
Сред. за декаду	-	-	-	277	359	483	557	528	328
Ср.многолет.	-	-	-	145	312	458	530	468	299

По данным таблицы 2.2 составлены графики (рис. 2.1 - 2.4).

Как видно, в апреле месяце средняя температура воздуха составляла 19,2 °С, т.е. температурный режим воздуха в апреле месяце был выше среднемноголетнего на 4,4 °С и сев семян хлопчатника проводился в оптимальные сроки - 17.04. В период май-сентябрь месяцы температурный режим воздуха был близко к среднемноголетнему и был благоприятным для нормального роста и развития хлопчатника и своевременного сбора урожая хлопка-сырца.

За период январь-март осадков выпало существенно больше среднемноголетних. В апреле месяце количество выпавших осадков было меньше чем среднемноголетнее на 14,7мм, в мае на 24,6мм. В этот год пришлось провести подпитывающий полив после сева хлопчатника, но в июне месяце количество выпавших осадков превысило среднемноголетние на 28,7мм, за счет ливневого дождя в 3 декаду. Вследствие этого пришлось делать двукратное мотыжение. В сентябре месяце осадков не было, сбор урожая хлопка-сырца был проведен своевременно и качественно.

Лето было жаркое, относительная влажность воздуха в течение июня-августа была значительно выше среднемноголетней.

Сумма эффективных температур за все месяцы вегетационного периода хлопчатника было больше, составило 2532°С что выше среднемноголетней на 230 °С.

Сырдарьинская область. Погодные условия за период январь-сентябрь 2012г. характеризуются данными гидрометеорологической станции «Сырдарья», расположенной в 35км севернее опытного участка. Её местоположение определяется географическими координатами: 40°49' северной широты 68°41' восточной долготы. Она расположена на отметке земли 263,16м, имеет флюгер высотой 12м.

Метеорологические условия среднемноголетние и 2012г. приведены в таблице 2.3.

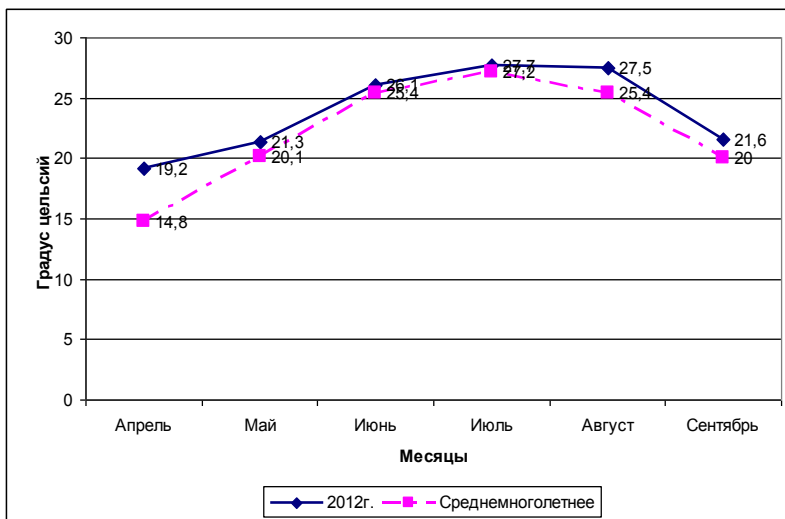


Рис. 2.1. Температура воздуха

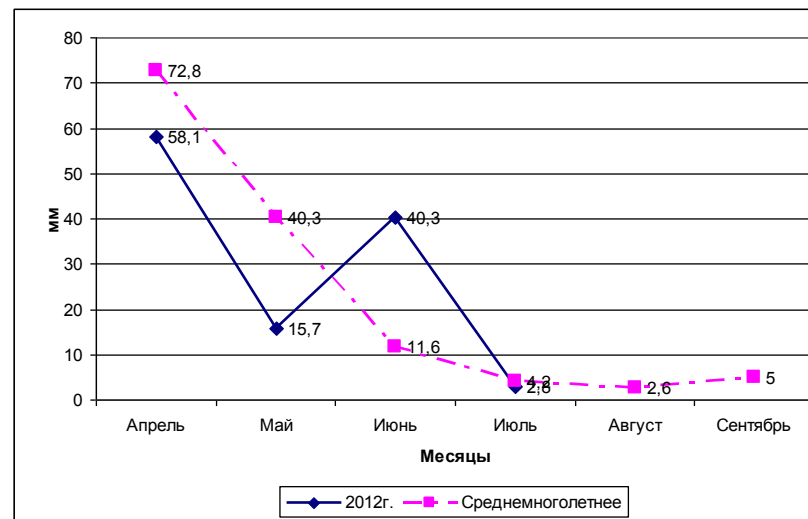


Рис. 2.2. Атмосферные осадки

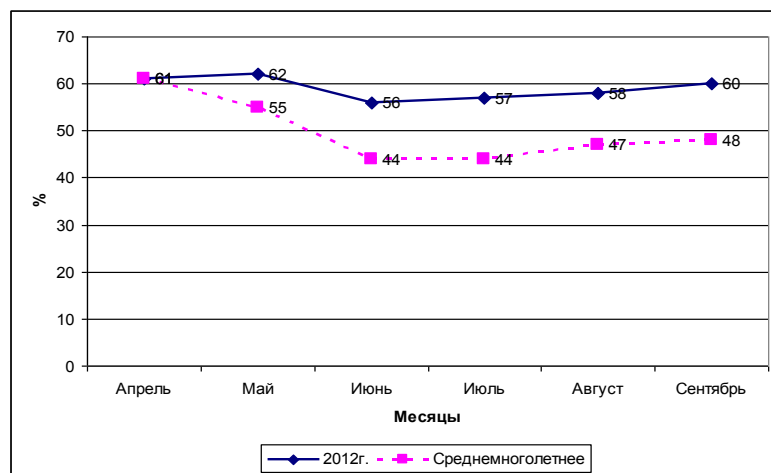


Рис. 2.3. Относительная влажность воздуха

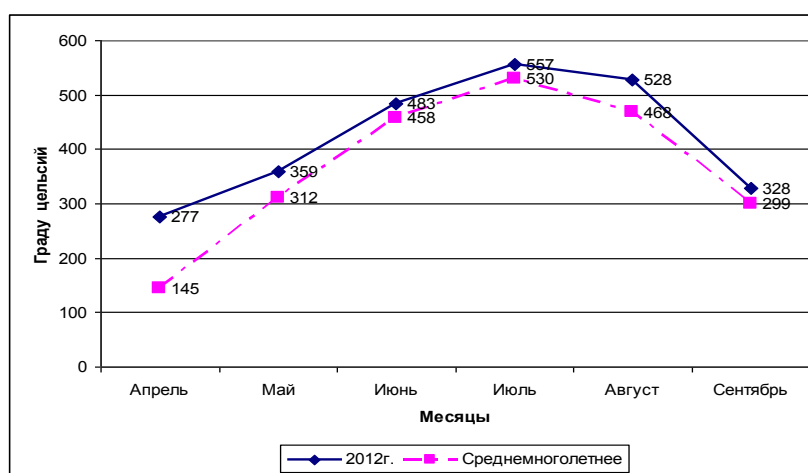


Рис. 2.4. Сумма эффективных температур за вегетационный период

Метеорологические данные за 2012г.
(данные ГСМ «Сырдарья»)

Декады	Месяцы								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Температура воздуха, С ⁰									
I	-3,2	-6,2	6,2	18,2	21,5	26,9	29,0	26,9	21,3
II	0,6	0,5	4,5	20,2	22,4	27,9	28,0	28,8	19,2
III	-0,4	1,8	11,8	21,3	24,7	27,8	27,8	26,1	20,6
Ср. за декаду	-1,0	-1,3	7,5	19,9	22,9	27,5	28,3	27,3	20,4
Ср.многолет.	1,2	0,7	8,3	15,7	21,0	25,8	26,7	24,0	19,1
Атмосферные осадки, мм									
I	6,3	16,9	7,6	11,3	7,4	-	-	-	-
II	6,0	35,7	52,7	2,6	13,7	-	-	-	-
III	12,1	4,2	9,2	2,7	0,7	-	-	-	-
Всего за декаду	24,4	56,8	69,5	16,6	21,8	-	-	-	-
Ср.многолет.	39,0	38,0	55,0	55,0	26,0	6,0	2,0	1,0	2,0
Относительная влажность воздуха, %									
I	92	86	75	66	58	49	50	52	54
II	90	83	83	58	58	47	47	58	57
III	85	80	69	63	57	53	53	59	59
Сред. за декаду	89	83	76	62	58	50	50	54	57
Ср.многолет.	56	59	61	60	53	42	42	46	47

Как видно, в апреле месяце средняя температура воздуха составляла 19,9 °С, т.е. температурный режим воздуха в апреле месяце был выше среднемноголетнего на 4,4 °С и сев семян хлопчатника проводился в оптимальные сроки - 12.04. В период май-сентябрь месяцы температурный

режим воздуха был близко к среднемуголетнему и был благоприятным для нормального роста и развития хлопчатника и своевременного сбора урожая хлопка-сырца.

По данным таблицы 2.3 составлена графики (рис. 2.5 - 2.6).

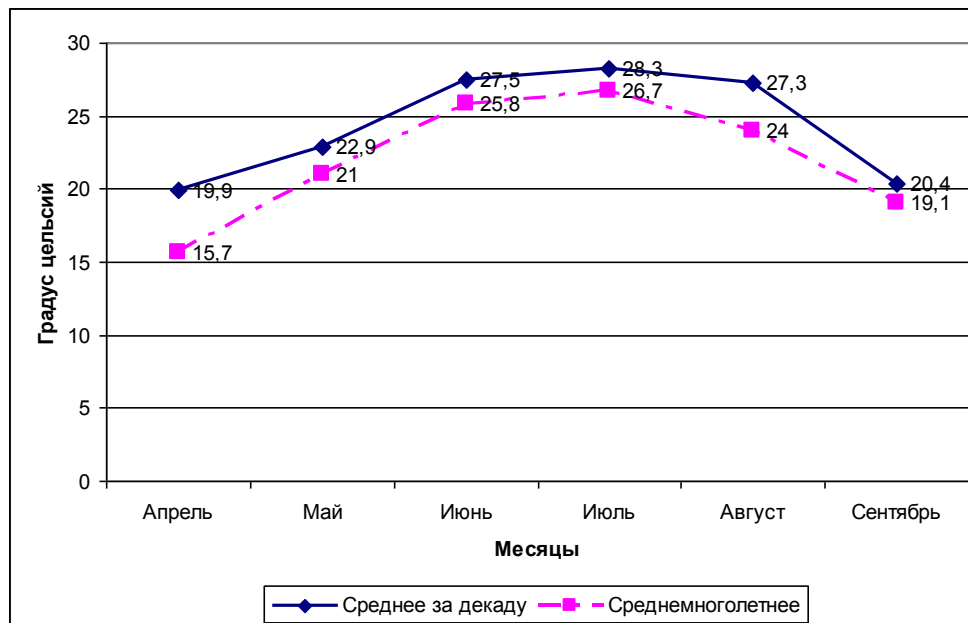


Рис. 2.5. Температура воздуха

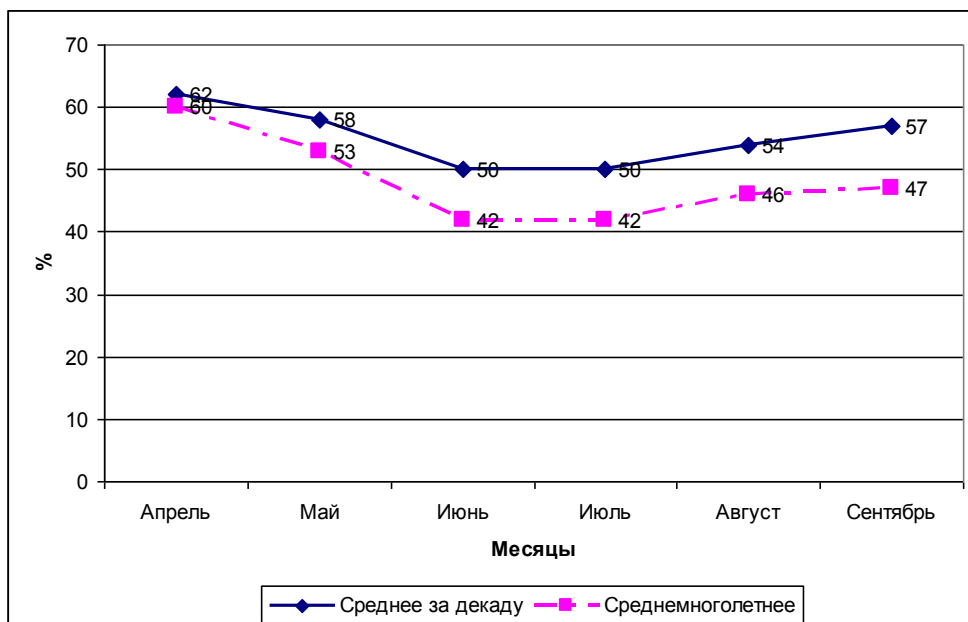


Рис. 2.6. Относительная влажность воздуха

За период февраль-март осадков выпало существенно больше среднемноголетних. В апреле месяце количество выпавших осадков было в 3 раза меньше чем среднемноголетнее, а в мае месяце на 4,2мм.

Лето было жаркое, относительная влажность воздуха в течение вегетационного периода хлопчатника была выше среднемноголетней.

2.2.2. Схема полевого опыта и методика проведения исследований

Экспериментальные исследования по изучению и измерению испарения влаги из почвы хлопкового поля проводились на староорошаемом типичном сероземе ОПУ УзНИИХ в Ташкентской области и на сероземно-луговой, легкосуглинистой, слабо-среднезасоленной сульфатного типа засоления почвы Сырдарьинской области по схеме опыта, представленной в таблицах 2.4 и 2.5.

Таблица 2.4

Схема полевого опыта с хлопчатником на ОПУ УзНИИХ (Таш. область)
(ширина междурядий 60см)

№ вар.	Вариант опыта	Технология полива	Примечание
1	Полив по стандартным бороздам (контроль)	Подача воды в каждую борозду (кроме первого и последнего полива)	Увлажняется все поле
2	Полив по мульчированным соломой бороздам		
3	Полив по мульчированным пленкой бороздам		
4	Полив по стандартным бороздам (контроль)	Подача воды через одно междурядье (вода подается только в мульчированные борозды)	Увлажняется половина поля
5	Полив по мульчированным соломой бороздам		
6	Полив по мульчированным пленкой бороздам		

Опыт закладывается в трехкратной повторности. Размер делянки каждого варианта включает 8 рядков длиной - 50 м, площадь одной делянки 120 м², площадь опыта 2160 м². Годовая норма хлопчатника: N200, P150 K100 кг/га. Поливы проводятся по влажности почвы 70-70-60% НВ с

увлажнением слоя почвы контрольного варианта 70-100-70 см, опытных 50-50-50 см.

Методика измерения испарения основана на использовании «малых» испарителей объемом 1155 см³ (диаметр 7см, высота - 30см). Измерение испарившейся влаги из почвы производится непосредственно на поле. Малый испаритель в виде металлического цилиндра вбивается в почву, откапывается вместе с почвой ненарушенной структуры вставляется в почву. Спустя двое-трое суток испаритель вместе с почвой вынимается из скважины и взвешивается на полевых электронных весах. По разнице масс испарителя с почвой определяется масса испарившейся из поверхности почвы испарителя влаги. Затем делается пересчет полученного результата на площадь 1га. Измерения проводятся после появления всходов и до второго сбора урожая хлопка-сырца.

Испарители устанавливаются на первом и третьем повторении в средней части делянки. Причем на варианте с мульчированием почвы соломой озимой пшеницы испарители устанавливаются в дно мульчированной и в дно смежной немulьчированной борозды.

На варианте с мульчированием почвы пленкой испарители устанавливаются только в дно смежной борозды.

На контрольном варианте с поливом через борозду устанавливаются два испарителя, как на варианте с мульчированием почвы соломой. На контрольном варианте с подачей воды при поливах в каждую борозду ставится один испаритель, а в периоды проведения первого и последнего полива (с подачей воды через междурядье) - два испарителя.

В местах установки испарителей устанавливаются тензиометры закладываются обсадные трубы на глубину 1,1 м для измерения влажности почвы нейтронным влагомером. Такие площадки с набором приборов и термометров закладываются на всех вариантах.

Почва опытного участка - тяжелосуглинистый староорошаемый серозем с глубоким залеганием уровня грунтовых вод.

1. В начале и конце вегетационного периода хлопчатника на глубину до 1 м послойно определяются водно-физические свойства почвы: объемная масса (плотность сложения); водопроницаемость, скважность.

2. В начале и конце вегетационного периода хлопчатника в толще почвы 2 м определяется влажность почвы во всех вариантах первого и третьего повторения.

3. Для определения сроков полива в 1 м слое почвы определяется влажность почвы нейтронным влагомером «Hydroprobe-503DR» производства США по слоям 0-10 см, а также тензиометром ТП-1 измеряется потенциал почвенной влаги.

4. В начале и конце вегетационного периода на всех вариантах опыта отбираются образцы почвы из пахотного и подпахотного слоев (0-30 и 30-50см) для определения содержания гумуса методом Тюрина И.В., подвижные формы азота и фосфора методом Мачигина В.П. и валовые формы NPK методом Мальцева И.М., Гриценко Л.П. и Жорикова Е.А.

5. Биометрические измерения в период роста и развития хлопчатника проводятся по методике УзНИИХ в первые числа июня, июля, августа и сентября на 50 растениях в трех повторениях.

6. Густота стояния растений определяется на всех вариантах трех повторений после прореживания всходов и в конце вегетации хлопчатника.

7. На всех вариантах опыта в середине делянок с помощью рейки Лопухина измеряется затененность почвы. Для этого она укладывается вдоль и поперек рядков растений и определяется среднее количество меток, попавших в тень. Измерения проводятся один раз в декаду.

8. Листовая поверхность хлопчатника определяется в течении каждой фазы развития стандартным методом высечек. Для этого из 5 типичных растений каждого варианта со всех ярусов отбираются листья, из них берутся высечки и взвешиваются на аналитических весах. Затем расчетным путем устанавливается листовая поверхность опытных растений и производится расчет листовой поверхности на площади 1га. В эти сроки

проводятся измерения прибором “Green Seekers” биологической массы растений.

9. Учет подаваемой и сбрасываемой воды при поливах измеряется с помощью водосливов с тонкой стенкой и треугольным вырезом с углом 90⁰, устанавливаемых в голове и конце учетных борозд на всех вариантах первого и третьего повторения. В местах установки испарителей измеряются температура воды (при поливах) и температура почвы.

11. Учет урожая хлопка-сырца проводится с учетных делянок всех вариантов и повторений. Математическая обработка полученных урожайных данных проведена по обобщенному методу Доспехова Б.А. Определяется масса сырца одной коробочки и качество хлопка-сырца.

12. Ежедневные в течение вегетационного периода показатели температуры и влажности воздуха, скорости ветра, слоя осадков берутся по данным метеопункта «Аккавак».

13. В качестве экологических исследований в мульчированных и открытых немulчированных вариантах опыта устанавливаются трубочки для отбора проб почвенного воздуха методом Штатнова. Содержание углекислого и других газов в почвенном воздухе определяются на газовом хроматографе ЛХМ-8М в объединении «Урангеология».

Таблица 2.5

Схема полевого опыта с хлопчатником на территории Сырдарьинского филиала УзНИИХ (ширина междурядий 90см)

№ вар.	Вариант опыта	Технология полива	Примечание
1	Полив по стандартным бороздам (контроль)	Подача воды в каждую борозду кроме первого полива	В вар. 2, 3 мульча укладывается в стыковые борозды и в борозды по следу переднего колеса трактора.
2	Полив по мульчированным соломой бороздам		
3	Полив по мульчированным пленкой бороздам		
4	Полив по стандартным бороздам (контроль)	Подача воды через одно междурядье	В вар. 5, 6 мульча укладывается в стыковые борозды и в борозды по следу переднего колеса трактора. При поливах вода подается только в мульчированные борозды.
5	Полив по мульчированным соломой бороздам		
6	Полив по мульчированным пленкой бороздам		

Почва опытного участка сероземно-луговая легкосуглинистая, слабо-среднезасоленная сульфатного типа засоления. Среднеминерализованные грунтовые воды залегают на глубине 1,8-2,5 м.

Методика проведения полевого опыта аналогична проведенной для участка с типичным сероземом. Однако на данном объекте появляется необходимость в проведении исследований, обусловленных засолением почвы и близким залеганием уровня грунтовых вод. Они заключаются в следующем. В начале и конце вегетации на глубину до УГВ отбираются образцы почвы для определения состава ионов полной водной вытяжки. В эти же сроки проводится солевая съемка с помощью электрокондуктомера. На делянках каждого варианта первого и третьего повторения закладываются скважины для наблюдения за динамикой - УГВ.

Производится отбор проб грунтовой воды для определения качества воды стандартным методом полной водной вытяжки, ручным электрокондуктомером измеряются электропроводность и рН.

В теоретическом плане программой НИР предусматривается проведение сбора информации о физическом испарении влаги из литературных источников и Интернета и их анализ. Далее будет проводиться разработка математических моделей почвы, растения и их взаимодействие в системе «почва-растение-атмосфера». После создания математической модели испарения будет составлена компьютерная программа по которой будут получены расчетные значения физического испарения влаги с хлопкового поля. Расчетные и фактические значения количества испарившейся влаги будут составляться, модем и программа счет будут корректироваться и после этого модель примет окончательный вид.

2.2.2.1. Агротехника возделывания хлопчатника

Агротехнические работы на опытном участке в Ташкентской области проводили в соответствии с агротехникой, принятой в экспериментальном хозяйстве УзНИИХ, за исключением техники и технологии полива.

Осенью перед вспашкой вносили фосфорные и калийные удобрения (30-40% от всей нормы) разбрасывателем РУМ-3 и 4-х корпусным плугом ПН-4-35 запахивали на глубину 28-30см. Весной перед севом проводилось двукратное малование с одновременным боронованием. Сев семян хлопчатника проводился хлопковой сеялкой СТХ-4 с расходом опущенных семян 60кг/га в оптимальный срок средневолокнистого сорта Навруз. Вегетационные поливы в полевых опытах проводились согласно схеме опыта, учитывая предполивную влажность почвы и расчетный слой почвы.

Мульчирование поливных борозд черной полиэтиленовой плёнкой и соломой озимой пшеницы проводилась после полного внесения годовой нормы минеральных удобрений и в этих (2,3,5,6) вариантах до конца вегетационного периода междурядные обработки не проводились. Всего за вегетацию в вариантах с мульчированием почвы междурядные обработки (культивация + нарезка борозд) проводились 5 раз.

В 1 и 4 вариантах традиционно - после полива почва рыхлилась, а перед следующим поливом проводилась нарезка борозд. Всего в этих вариантах междурядные обработки за вегетационный период проводились (8 раз) на 3 раза больше чем в мульчированных вариантах.

Все необходимые агротехнические мероприятия проводились в оптимальные сроки с хорошим качеством. Выполненные агроприёмы при проведении полевого опыта, приведены в таблице 2.6.

Таблица 2.6

Агротехнические мероприятия по возделыванию хлопчатника
(ОПУ УзНИИХ, Ташкентская область)

№	Агротехнические мероприятия	Сроки и количество проведенных агротехнических мероприятий							
		1	2	3	4	5	6	7	8
1	Внесение удобрений	19.12.11							
2	Вспашка	20.12.11							
3	Подготовка к посеву	15.04.12							
4	Сев семян	17.04							
5	Влагозарядковый полив	21.04							
6	Мотыжение	1.05	25.06						
7	Прореживание всходов	20-25.05							
8	Кетменное мотыжение	3.05-7.05	18.06-20.06	28.06					
9	Прополка сорняков	20.07	9.08	30.08					
10	Междурядные обработки (культивация)	3.05	15.05*	20.06	8.07**				
11	Нарезка поливных борозд	25.05*	21.06*	22.07***	3.08***				
12	Мульчирование поливных борозд	21.06							
Вегетационные поливы									
13	В 1 и 4 вариантах	28.05	15.06	3.07	23.07	10.08	28.08		
	В 2 и 5 вариантах	28.05	15.06	28.06	15.07	29.07	17.08	31.08	
	В 3 и 6 вариантах	28.05	15.06	30.06	18.07	2.08	20.08	2.09	11.09
14	Борьба с с/х вредителями	6.06	29.07	4-5.08					
15	Чеканка	8.08	15.08						
16	Дефолиация	6.09							
17	Уборка урожая хлопка-сырца	17.09	10.10	11.10*** *					

Примечание: * - с внесением минеральных удобрений; ** - с внесением минеральных удобрений на контрольных вариантах; *** - на контрольных вариантах; **** - определение расчетным методом биологического урожая.

Количество вегетационных поливов в вариантах с мульчированием черной полиэтиленовой пленкой бороздам составило 8 раз, в вариантах с мульчированием соломой озимой пшеницы 7 раз и в немulьчированных вариантах 6 раз. В мульчированных вариантах увлажняемый слой почвы равнялся 50-50-30см соответственно фазам развития хлопчатника, т.е.

поливов проводились чаще малыми нормами, а в контрольных вариантах 70-100-70см соответственно фазам развития хлопчатника.

В Сырдарьинской области подготовка почвы для посева, внесение минеральных удобрений, полив, уход за посевами осуществляли в соответствии с агроприёмами для данной зоны согласно методическим указаниям УзНИИХ. В декабре 2011 года была проведена пахота на глубину 30см, в первую декаду января 2012 года была проведена промывка почвы нормой 2500 м³/га, а ранневесеннее боронование в третью декаду марта месяца. Весной перед севом проводилось чизелевание с одновременным малованием.

Сев семян хлопчатника сорта Ан-Баявут-2 проводился хлопковой сеялкой СТХ-4 в оптимальный срок. Vegetационные поливы в полевых опытах проводились согласно схеме опыта, учитывая предполивную влажность почвы и расчетный слой почвы.

Мульчирование поливных борозд черной полиэтиленовой плёнкой и соломой озимой пшеницы проводилась после полного внесения годовой нормы минеральных удобрений и в этих (2,3,5,6) вариантах до конца вегетационного периода междурядные обработки не проводились. Всего за вегетацию в вариантах с мульчированием почвы междурядные обработки проводились 4 раза.

В 1 и 4 вариантах традиционно - после полива почва рыхлилась, а перед следующим поливом проводилась нарезка борозд. Всего в этих вариантах междурядные обработки за вегетационный период проводились (браз) в 1,5 раза больше чем в мульчированных вариантах.

Все необходимые агротехнические мероприятия проводились в оптимальные сроки с хорошим качеством.

Выполненные агроприёмы при проведении полевого опыта, приведены в таблице 2.7.

**Агротехнические мероприятия по возделыванию хлопчатника
(ОПУ Сырдарьинский филиал УзНИИХ)**

№	Агротехнические мероприятия	Сроки и количество проведенных агротехнических мероприятий			
		1	2	3	4
1	Вспашка	6.12.11			
2	Промывка	4.01.12			
3	Ранневесеннее боронование	24.03			
4	Подготовка участка к посеву	21.04			
5	Сев семян	24.04			
6	Прополка сорняков	2.05	1.06	1.07	5.08
7	Междурядные обработки (культивация)	2.05	21.05*	10.06*	25.06**
8	Нарезка поливных борозд	14.06	22.07**		
9	Мульчирование поливных борозд	16-17.06			
10	Поливы	18.06	23.07		
11	Чеканка	1.08			
12	Уборка урожая хлопка-сырца	7.09	2.10		

Примечание: * - с внесением минеральных удобрений; ** - на контрольных вариантах.

Количество вегетационных поливов во всех вариантах составило 2 раза. В мульчированных вариантах увлажняемый слой почвы равнялся 50-50-30см соответственно фазам развития хлопчатника, т.е. поливы проводились чаще малыми нормами, а в контрольных вариантах 70-100-70см соответственно фазам развития хлопчатника.

2.3. Результаты полевых и лабораторных исследований

2.3.1. Ташкентская область

2.3.1.1. Влияние технологии орошения и техники полива хлопчатника на агрохимические свойства почвы

Для определения влияния технологии и техники поливов на агрохимические свойства почвы (исходное) перед закладкой опыта общим фоном брались образцы почвы в трех точках, а в конце вегетационного периода с каждого варианта опыта из пахотного и подпахотного слоёв почвы. Результаты лабораторных анализов приведены в таблицах 2.8-2.9.

Таблица 2.8

Агрохимическая характеристика почвы опытного участка
(исходное)

Точки	Горизонт, см	Гумус, %	Валовые формы, %		Подвижные формы, мг/кг		
			N	P ₂ O ₅	NO ₃	P ₂ O ₅	K ₂ O
Т ₁	0-30	0,712	0,061	0,058	0,9	12,4	180
	30-50	0,609	0,056	0,052	0,562	11,6	160
Т ₂	0-30	0,735	0,067	0,058	1,025	12,4	180
	30-50	0,515	0,056	0,044	0,787	10,8	160
Т ₃	0-30	0,625	0,068	0,061	0,787	11,6	160
	30-50	0,520	0,051	0,058	0,562	10,0	160
Среднее	0-30	0,690	0,065	0,059	0,904	12,1	173
	30-50	0,548	0,054	0,051	0,637	10,8	160

Как видно, в начале вегетации в пахотном слое почвы (0-30см) содержание гумуса составляло 0,690%, валового азота 0,065%, валового фосфора 0,059%. Эти показатели в подпахотном слое почвы (30-50см) соответственно были равны 0,548, 0,054 и 0,051%.

Содержание подвижных форм азота, фосфора и калия в пахотном слое почвы составляло - 0,904, 12,1 и 173 мг/кг, в подпахотном слое почвы соответственно 0,637, 10,8 и 160 мг/кг.

Таблица 2.9

Содержание питательных элементов в почве в конце вегетации

Вариант	Горизонт, см	Гумус, %	Валовые формы, %		Подвижные формы, мг/кг		
			N	P ₂ O ₅	NO ₃	P ₂ O ₅	K ₂ O
1	0-30	0,588	0,053	0,062	13,65	16,4	180
	30-50	0,567	0,035	0,056	3,262	11,6	140
2	0-30	0,840	0,078	0,080	4,912	17,2	220
	30-50	0,609	0,043	0,068	2,162	12,4	140
3	0-30	0,651	0,057	0,059	2,962	15,6	240
	30-50	0,525	0,041	0,056	4,412	10,0	220
4	0-30	0,609	0,058	0,065	9,475	14,8	200
	30-50	0,441	0,037	0,059	3,112	12,4	180
5	0-30	0,653	0,058	0,077	3,262	18,0	240
	30-50	0,588	0,053	0,077	2,0	14,0	200
6	0-30	0,630	0,053	0,062	12,45	20,8	260
	30-50	0,504	0,042	0,054	2,962	14,0	220

В конце вегетации содержание гумуса в пахотном слое почвы в группе вариантов с поливом в каждое междурядье составило - в 1 варианте где поливы проводились по открытым бороздам - 0,588%, во 2 варианте при поливе по мульчированным соломой бороздам - 0,840%, в 3 варианте с поливом по мульчированным плёнкой бороздам - 0,651%. В подпахотном слое почвы соответственно 0,567, 0,609 и 0,525%.

В группе вариантов с поливом через междурядье эти показатели в пахотном слое почвы составили - 0,609, 0,653, и 0,630%, в подпахотном слое почвы соответственно 0,441, 0,588 и 0,504%.

Анализируя результаты группы вариантов с поливом в каждое междурядье в пахотном слое почвы к концу вегетации в мульчированных (2 и 3) вариантах в определилось больше чем в 1 варианте на 0,252-0,063%, а в подпахотном слое почвы на 0,042%.

Во второй группе вариантов содержание гумуса к концу вегетации в мульчированных вариантах определилось больше чем в немulьчированных 4 варианте в пахотном слое почвы на 0,044-0,021% и в подпахотном слое почвы на 0,147-0,063%.

Сравнивая содержания валовых форм азота, фосфора и подвижных форм азота, фосфора и калия можно отметить что, в вариантах с поливами хлопчатника по мульчированным бороздам к концу вегетации снижение их оказалось в меньшей степени, чем при обычной технологии полива хлопчатника, особенно в вариантах с поливами по мульчированным соломой бороздам.

2.3.1.2. Влияние технологии орошения и техники полива хлопчатника на агрофизические свойства почвы

Объёмная масса и порозность почвы. Объёмная масса почвы зависит от механического состава почвы и факторов её уплотняющих или разрыхляющих (обработка почвы, поливы и т.д.). По каждому слою почвы объёмная масса определялась в трехкратной повторности в начале вегетации общим фоном, а в конце вегетации во всех вариантах. Результаты её определения приведены в таблице 2.10. По данным таблицы 2.10 построена диаграмма величин исходного и в конце вегетационного периода.

По результатам исследований динамики объёмной массы построена диаграмма изменения от начала и к концу вегетационного периода (рис. 2.7).

Таблица 2.10

Объёмная масса почвы, г/см³

Почвенный слой, см	В начале вегетации	В конце вегетации					
		1 вар.	2 вар.	3 вар.	4 вар.	5 вар.	6 вар.
0-30	1,37	1,40	1,38	1,37	1,39	1,37	1,37
0-50	1,39	1,42	1,39	1,39	1,41	1,38	1,38
0-70	1,40	1,42	1,40	1,40	1,42	1,40	1,39
0-100	1,42	1,44	1,42	1,42	1,43	1,42	1,41

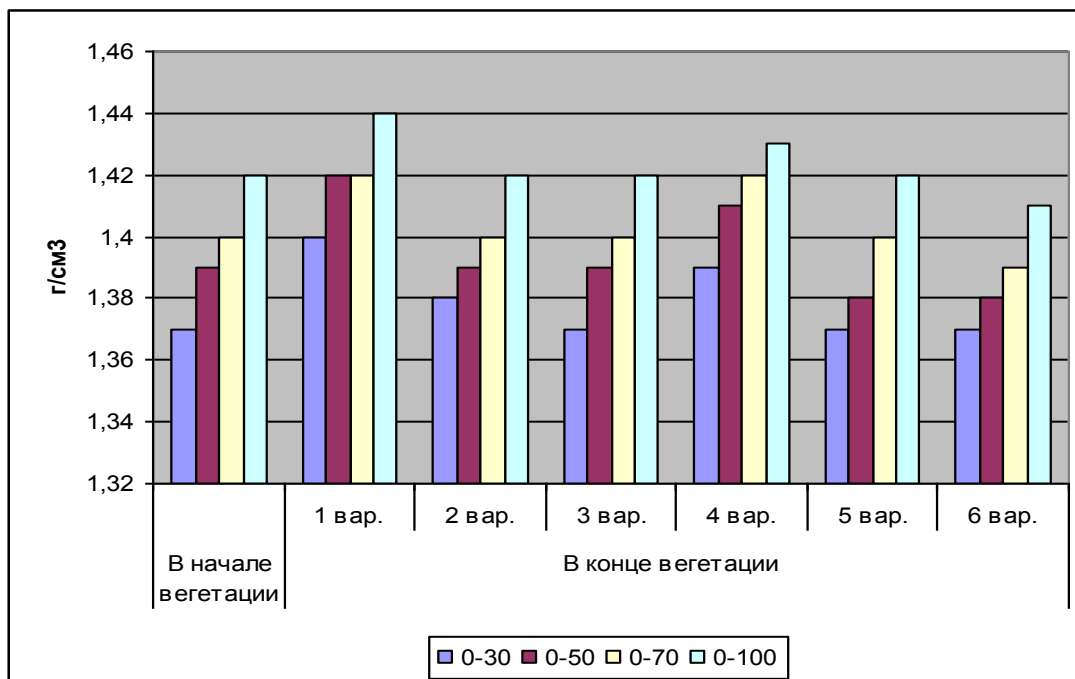


Рис. 2.7. Объёмная масса почвы

По данным таблицы 2.10 видно что, перед, закладкой опыта объёмная масса пахотного слоя почвы 0-30см составляла $1,37 \text{ г/см}^3$, порозность 49,2% (табл. 2.11), подпахотного слоя 0-50см - $1,39 \text{ г/см}^3$ и порозность 48,5%, объёмная масса слоя почвы 0-70см составляла $1,40 \text{ г/см}^3$, порозность 48,1% и метрового слоя почвы соответственно $1,42 \text{ г/см}^3$ и 47,4%.

Таблица 2.11

Почвенный слой, см	Порозность почвы, %						
	В начале вегетации	В конце вегетации					
		1 вар.	2 вар.	3 вар.	4 вар.	5 вар.	6 вар.
0-30	49,2	48,1	48,8	49,2	48,5	49,2	49,2
0-50	48,5	47,4	48,5	48,5	47,7	48,8	48,8
0-70	48,1	47,4	48,1	48,1	47,4	48,1	48,5
0-100	47,4	46,6	47,4	47,4	47,0	47,4	47,7

По результатам исследований можно сделать следующие выводы:

- в первом варианте где поливы проводились через каждые борозды, с увлажняемым расчетным слоем почвы 70-100-70см соответственно фазам развития хлопчатника объёмная масса 0-30см слоя почвы составила 1,40 г/см³, порозность 48,1%, слоя почвы 0-50см соответственно 1,42 г/см³ и 47,4%, слоя почвы 0-70см 1,42 г/см³ и 47,4% и метрового слоя почвы 1,44 г/см³ и 46,6%;

- во втором варианте, где поливы проводились через каждые борозды, по мульчированным соломой бороздам, с увлажняемым расчетным слоем почвы 50-50-30см соответственно фазам развития хлопчатника объёмная масса 0-30см слоя почвы составила 1,38 г/см³, порозность 48,8%, слоя почвы 0-50см соответственно 1,39 г/см³ и 48,5%, слоя почвы 0-70см 1,40 г/см³ и 48,1%, метрового слоя почвы 1,42 г/см³ и 47,4%;

- в третьем варианте, где поливы проводились через каждые борозды, по мульчированным плёнкой бороздам объёмная масса 0-30см слоя почвы составила 1,37 г/см³, порозность 49,2%, слоя почвы 0-50см соответственно 1,39 г/см³ и 48,5%, слоя почвы 0-70см 1,40 г/см³ и 48,1% и метрового слоя почвы 1,42 г/см³ и 47,4%;

- в четвертом варианте, где поливы проводились через междурядье, объёмная масса слоя почвы 0-30см составила 1,39 г/см³, порозность 48,5%, слоя почвы 0-50см соответственно 1,41 г/см³ и 47,7%, слоя почвы 0-70см 1,42 г/см³ и 47,4% и метрового слоя почвы 1,43 г/см³ и 47,0%;

- в пятом варианте, где поливы проводились так же как и во втором вариант но через междурядье объёмная масса 0-30см слоя почвы составила 1,37 г/см³, порозность 49,2%, слоя почвы 0-50см соответственно 1,38 г/см³ и 48,8%, слоя почвы 0-70см 1,40 г/см³ и 48,1% и метрового слоя почвы 1,42 г/см³ и 47,4%;

- в шестом варианте, где поливы проводились так же как и в третьем варианте но через междурядье объёмная масса 0-30см слоя почвы составила 1,37 г/см³, порозность 49,2%, слоя почвы 0-50см соответственно 1,38 г/см³ и

48,8%, слоя почвы 0-70см 1,39 г/см³ и 48,5% и метрового слоя почвы 1,41 г/см³ и 47,7%.

Анализ данных исследований показывает, что объёмная масса почвы к концу вегетации в слое почвы 0-30 и 0-50 см увеличивается значительно в контрольных вариантах - на 0,03-0,02 г/см³. В мульчированных вариантах объёмная масса плодородного слоя почвы уплотнилась не значительно. Это обусловлено меньшим уплотнением почвы тракторными колесами из-за сокращения междурядных обработок после укладки соломы и пленки в борозды в период цветения-плодообразования.

Наименьшая влагоёмкость почвы. Наименьшая влагоёмкость почвы является основным водно-физическим свойством, без определения которой нельзя вычислить размер поливных норм и распределить их по времени. Наименьшая влагоёмкость почвы опытного участка определялась до закладки опыта в двух повторениях нейтронным влагомером. Данные о величине наименьшей влагоёмкости по слоям почвы приведены в таблице 2.11.

Таблица 2.11

Наименьшая влагоёмкость почвы, в % от объёма почвы

Почвенный слой, см	Повторности			Среднее	Влажность почвы % от объёма
	I	II	III		
0-10	6431	6503	6182	6372	29,7
10-20	6456	6500	6460	6472	29,2
20-30	6615	6597	6607	6606	28,9
30-40	6759	6811	6791	6787	28,5
40-50	6750	6735	6726	6737	28,2
50-60	6841	6840	6860	6847	27,9
60-70	6828	6813	6876	6839	27,7
70-80	6848	6852	6850	6850	27,5
80-90	6841	6844	6790	6825	27,8
90-100	6952	6883	7039	6958	27,0
0-30 – 29,3%	0-50 – 28,9%		0-70 – 28,6%		0-100 – 28,2%

По данным таблицы видно, что наименьшая влагоёмкость почвы слоя 0-30см в среднем составляет - 29,3%, слоя почвы 0-50см – 28,9%, слоя 0-70см – 28,6 и метрового слоя почвы – 28,2% к объёмной массе почвы.

В пересчете на уровень предполивной влажности почвы 70-70-60% эти показатели составляют:

- слоя 0-30см при 70% НВ – 20,5% и при 60% НВ – 17,6%;
- слоя 0-50см при 70% НВ – 20,2% и при 60% НВ – 17,3%;
- слоя 0-70см при 70% НВ – 20,0% и при 60% НВ – 17,2%;
- слоя 0-100см при 70% НВ – 19,7% и при 60% НВ – 16,9%.

Эти показатели приняты для поддержания одинакового во всех вариантах опыта режима предполивной влажности почвы с разницей $\pm 1-2\%$.

Водопроницаемость почвы. Под водопроницаемостью почвы понимается способность почвы пропускать через себя воду в более глубокие горизонты. Впитывание воды зависит от механического состава и структуры почвы.

Водопроницаемость и водоудерживающая способность почвы - наиболее важные ее свойства, определяющие при прочих равных условиях запасы воды в почве. В условиях орошаемого земледелия определение этих величин приобретает исключительное значение.

Для определения водопроницаемости почвы опытного участка в начале вегетации общим фоном, а в конце вегетации во всех вариантах проводили исследования водопроницаемости почвы по стандартной методике. Полученные результаты, средние по годам исследований приведены в таблице 2.12.

Таблица 2.12

Водопроницаемость почвы за 6 часов

Период определения	Вариант	м ³ /га	мм/мин
В начале вегетации	Общим фоном	1160	0,322
В конце вегетации	1	855	0,237
	2	903	0,251
	3	923	0,256
	4	874	0,243
	5	916	0,254
	6	931	0,259

Как видно, в начале вегетации первого года исследований скорость впитывания воды в среднем составила 0,322 мм/мин, количество впитавшейся воды за 6 часов составило 1160 м³/га.

В конце вегетации в 1 варианте скорость впитывания воды в почву составила 0,237 мм/мин, количество впитавшейся воды за 6 часов 855 м³/га, во втором варианте количество впитавшейся воды составило 903 м³/га при средней скорости впитывания воды 0,251 мм/мин, в 3 варианте количество впитавшейся воды составило 923 м³/га при скорости впитывания 0,256 мм/мин, в 4 варианте количество впитавшейся воды к концу вегетации составило 874 м³/га при скорости впитывания 0,243 мм/мин, в 5 варианте водопроницаемость почвы составила – 916 м³/га при средней скорости впитывания 0,254 и в 6 варианте 931 м³/га, при скорости впитывания 0,259 мм/мин.

По результатам исследований динамики впитывания воды в почву построен график скорости впитывания воды в почву в начале и в конце вегетационного периода (рис. 2.8).

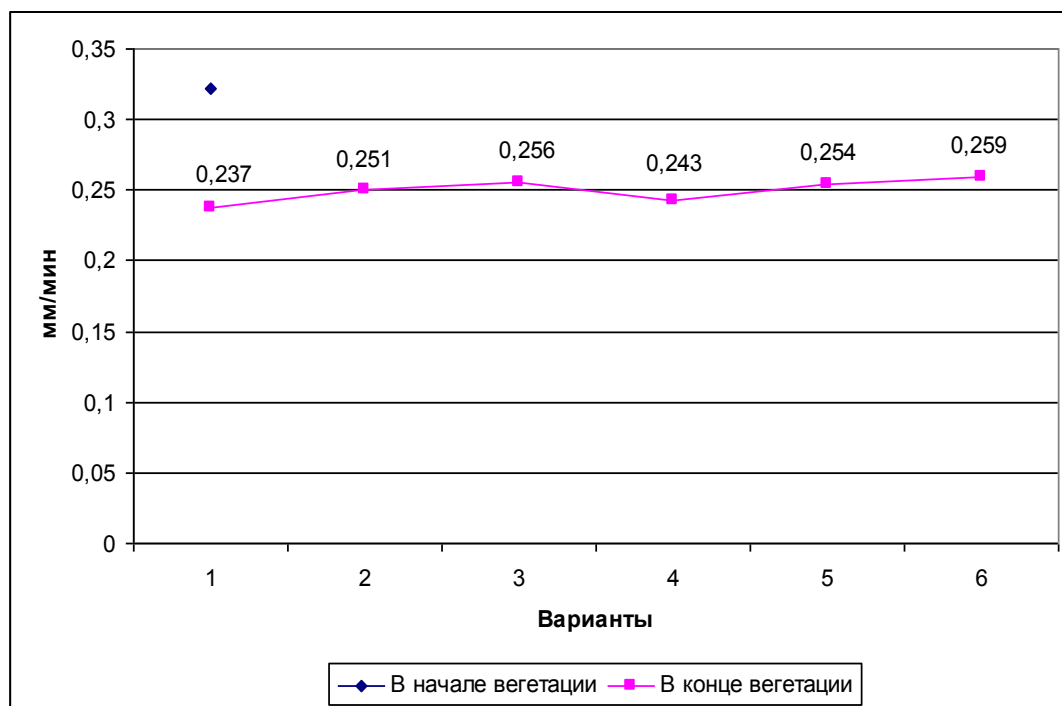


Рис. 2.8. Динамика впитывания воды в почву

Таким образом, при поливе через междурядье водопроницаемость почвы к концу вегетации остается выше, чем при поливе в каждые борозды: на 19, 13 и $\text{м}^3/\text{га}$ или 0,0053, 0,0036 и 0,0022 мм/мин. В мульчированных вариантах по сравнению с немulчированными (2,3 против 1) при поливе в каждые борозды больше на 5,3-7,4%, а при поливе через междурядье (5,6 против 4) на 4,6-7,4%.

Это свидетельствует о том что, в вариантах с мульчированием почвы соломой и плёнкой на почву в меньшей степени повлияли междурядные тракторные обработки, количество которых оказалось меньше, чем в вариантах с междурядными обработками.

Влагозапасы почвы. Определение влагозапасов почвы в слое 0-200см необходимо для расчета и водопотребления хлопчатника. Измерение влагозапасов почвы проводилось в начале вегетации общим фоном, а в конце вегетации в каждом варианте опыта. Результаты измерения влагозапасов почвы исходного и в конце вегетационного периода приведены в таблице 2.13.

Как видно, в начале вегетации почвенные влагозапасы в слое 0-200см определены в размере $5113 \text{ м}^3/\text{га}$. В течении вегетации часть влагозапасов потрачена на физическое испарение и транспирацию хлопчатника и поэтому к концу вегетации они уменьшились: на 4086, 4192, 4213, 3934, 4063, 4139 $\text{м}^3/\text{га}$ соответственно вариантам опыта. При этом в вариантах с мульчированием почвы (2,3 и 5,6) почвенных влагозапасов к концу вегетации оказалось больше, чем в немulчированной почве: в среднем по вариантам 2,3 по сравнению с вариантами 1 на $117 \text{ м}^3/\text{га}$ (2,7%); по вариантам 5,6 по сравнению с вариантами 3 на $167 \text{ м}^3/\text{га}$ (4,0%).

Таблица 2.13

Влагозапасы почвы в конце вегетации

Почвенный слой, см	В начале вегетации		1-вариант		2-вариант		3-вариант		4-вариант		5-вариант		6-вариант	
	мм	м ³ /га	%	м ³ /га	%	м ³ /га	%	м ³ /га	%	м ³ /га	%	м ³ /га	%	м ³ /га
0-10	17,9	179	11,6	160	13,6	184	13,6	181	11,0	151	13,0	174	13,5	178
10-20	22,6	226	12,8	180	13,9	193	14,0	195	12,2	171	13,4	185	13,9	192
20-30	27,6	276	13,6	193	14,0	196	14,3	200	12,9	182	13,6	189	14,1	197
30-40	28,5	258	13,6	194	14,1	199	14,8	209	13,3	189	13,9	195	14,3	200
40-50	29,2	292	14,0	202	14,4	204	14,9	211	13,6	194	14,0	197	14,5	204
50-60	29,2	292	14,7	213	14,6	209	15,1	216	14,0	203	14,3	204	14,8	210
60-70	28,6	286	15,0	217	14,9	214	15,2	219	14,6	213	14,6	212	15,0	214
70-80	27,6	276	15,3	223	15,2	222	15,5	225	15,0	217	14,8	215	15,1	219
80-90	27,0	270	15,9	233	15,5	226	15,7	229	15,4	225	15,2	222	15,6	228
90-100	26,1	261	16,1	237	15,6	229	16,0	235	15,8	231	15,5	228	15,9	234
100-120	50,4	504	15,4	446	15,9	460	15,2	440	15,1	438	15,7	455	15,7	455

120-140	51,3	513	15,0	434	15,4	446	15,5	449	14,5	420	15,1	438	15,1	438
140-160	51,0	510	14,2	412	14,9	432	14,6	423	13,9	403	14,0	406	14,2	412
160-180	49,2	492	13,3	382	14,1	406	14,1	406	12,3	354	13,1	377	13,5	389
180-200	47,8	478	12,6	360	13,0	372	13,1	375	12,0	343	12,8	366	12,9	369
0-30		681		533		573		576		504		548		567
0-50		1231		929		976		996		887		940		971
0-70		1809		1359		1399		1431		1303		1356		1395
0-100		2616		2052		2076		2120		1976		2021		2076
0-200		5113		4086		4192		4213		3934		4063		4139

Мульчирование почвы соломой озимой пшеницы способствует лучшему сохранению влаги к концу вегетационного периода хлопчатника, что способствует снижению затрат оросительной воды.

2.3.2. Водный режим почвы

Динамика влажности и всасывающего давления почвы. Решающим фактором для получения высоких и устойчивых урожаев сельскохозяйственных культур является поддержание в почве оптимальной влажности, необходимой для нормального снабжения растений водой.

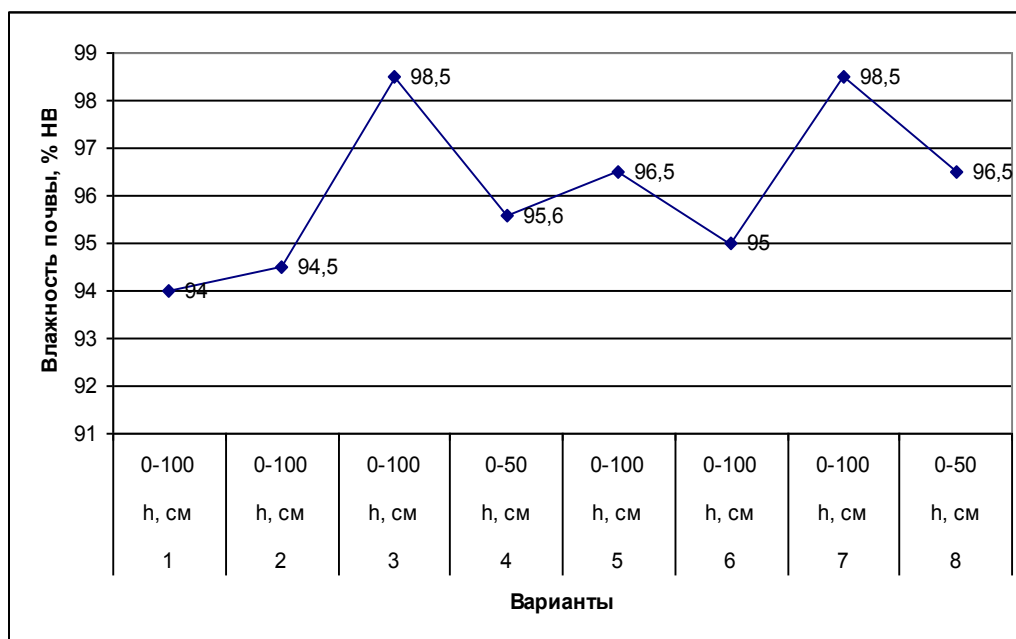
Потребность хлопчатника в воде по периодам его развития неодинакова и зависит от многих факторов - водно-физических свойств почвы, уровня залегания грунтовых вод, природных условий года и т.д. Научно-обоснованные нормы орошения в конкретных климатических и почвенно-мелиоративных условиях имеют большое значение для повышения урожайности хлопчатника при экономном использовании оросительной воды. Это особенно необходимо учитывать в последние годы, характеризующиеся маловодьем и острым дефицитом оросительной воды.

Получение высокого урожая хлопчатника с высокими качеством волокна зависит от своевременного проведения поливов расчётной поливной нормой. В полевом опыте для измерения влажности почвы использовали нейтронный влагомер марки «503 DR HYDROPROBE» производства США.

По результатам измерения предполивной влажности почвы построен график (рис. 2.9) динамики влажности почвы на пятый день после третьего полива.

Как видно, на пятый день после полива в 1,2,5,6 вариантах влажность почвы снизилось существенно больше чем в мульчированных 3,7 вариантах. В 4 и 8 мульчированных вариантах тоже относительно ниже, так как в этих

вариантах увлажняемый (расчетный) слой почвы равен 0-50см, здесь поливы проводились чаще малыми нормами.



Примечание: h, см - увлажняемый слой почвы

Рис. 2.9. Влажность почвы после третьего полива, %
(на 5 день, 2007г.)

Во все годы исследований режим предполивной влажности почвы в целом соответствовал принятой схеме опыта, допущенные методикой исследований отклонения до 2% НВ обусловлены недостаточно четкой организацией тракторных работ.

Режим орошения хлопчатника. Поливы хлопчатника проводились в оптимальные сроки, обусловленные режимом предполивной влажности почвы. Размер поливных норм брутто рассчитывался по дефициту влаги расчетного слоя почвы с надбавкой в размере 10%, учитывающей возможные потери воды на глубинную фильтрацию, испарение и поверхностный сброс. В таблице 2.14 приведены элементы режима орошения хлопчатника и средняя по годам исследований.

Режим орошения хлопчатника, 2007-2009гг.

Вар.	Режим предполивной влажности, % НВ	Расчётный слой почвы, см	Схема полива	Оросительная норма брутто, м ³ /га			Средняя за 3 года оросительная норма брутто, м ³ /га
				2007г.	2008г.	2009г.	
Поливы с постоянной водоподачей							
1	70-70-60	70-100-70	1-3-1	4248	4470	4414	4377
2		70-100-70	1-3-1	4273	4313	4220	4269
3		70-100-70	1-2-2	3764	3847	3851	3821
4		50-50-30	1-4-2	2738	2803	2723	2755
Поливы дискретной технологией							
5	70-70-60	70-100-70	1-3-1	4150	4285	4144	4193
6		70-100-70	1-3-1	4145	4242	4339	4242
7		70-100-70	1-2-2	3746	3843	3872	3820
8		50-50-30	1-4-2	2673	2761	2702	2712

Как видно, максимальный размер оросительной нормы соответствует вариантам с немულчированной почвой, минимальный размер вариантам 4 и 8 с мульчированной почвой и наименьшим расчётным слоем увлажнения почвы.

Во все годы исследований в вариантах 1-3, 5-7 проведено по 5 поливов хлопчатника, в вариантах 4 и 8 по 7 поливов. Минимальный размер оросительной нормы соответствует 4 и 8 вариантам, где расчётный увлажняемый слой почвы принимался равным 50-50-30см соответственно фазам развития хлопчатника. Мულчирование почвы соломой также способствовало снижению размера оросительной нормы в 3 и 7 вариантах.

Водопотребление хлопчатника. По данным измерения влагозапасов почвы в начале и конце вегетационного периода хлопчатника, слоя атмосферных осадков, выпавших за этот период, размера оросительных норм проведены расчеты по определению водопотребления хлопкового поля. Их результаты представлены в таблице 2.15.

Таблица 2.15

Водопотребление хлопкового поля, (среднее за 2007-2009гг.)

№	Показатели	Варианты							
		1	2	3	4	5	6	7	8
1	Влагозапасы почвы в начале вегетации, м ³ /га	5469	5469	5469	5469	5469	5469	5469	5469
2	Влагозапасы почвы в конце вегетации, м ³ /га	3855	3845	4107	4118	3929	3929	4102	4091
3	Использованная влага из влагозапасов почвы, м ³ /га	1614	1624	1362	1351	1541	1541	1367	1378
4	Использованная влага из влагозапасов почвы, %	26,0	26,6	25,2	31,2	25,9	25,7	25,2	31,9
5	Оросительная норма, м ³ /га	4377	4269	3821	2755	4193	4242	3820	2712
6	Оросительная норма, %	70,4	69,8	70,6	63,6	70,3	70,6	70,6	62,9
7	Количество осадков, м ³ /га	227	227	227	227	227	227	227	227
8	Количество осадков, %	3,6	3,7	4,2	5,2	3,8	3,7	4,2	5,2
9	Водопотребление, м ³ /га	6218	6120	5409	4332	5960	6009	5414	4317
10	Урожайность хлопчатника, ц/га	30,1	31,9	35,0	35,9	32,0	33,8	37,3	38,7
11	Затраты оросительной воды на получение 1ц урожая, м ³	145,4	134,0	109,1	76,8	131,3	125,5	102,4	70,2
12	Окупаемость 1 м ³ оросительной воды урожаем, кг	0,69	0,75	0,92	1,30	0,76	0,80	0,98	1,42
13	Затраты общей воды на получение 1ц урожая, м ³	206	192	155	121	187	178	145	112
14	Окупаемость 1 м ³ общей воды урожаем, кг	0,48	0,52	0,65	0,83	0,53	0,56	0,69	0,89

Как видно, наибольшую долю в водопотреблении хлопкового поля вносит оросительная норма: она составляет 62,9-70,6%. На долю почвенных влагозапасов приходится 25,2-31,9%, на долю осадков - 3,6-5,2%. Максимальный размер почвенных влагозапасов хлопчатник использовал в

вариантах с мульчированием почвы и малым размером расчетного слоя почвы (варианты 4,8).

Из полученных данных следует, что в вариантах орошения хлопчатника по мульчированным бороздам продуктивность оросительной воды самая высокая: $1,3 \text{ кг/м}^3$ в варианте 4 и $1,42 \text{ кг/м}^3$ в варианте 8. Кроме того продуктивность оросительной воды в вариантах с дискретным поливом (5-8) выше, чем в вариантах с постоянной водоподачей при поливах (1-4). В целом мульчирование почвы и прерывистая (тактная) водоподача при поливах способствуют повышению продуктивности дефицитной оросительной воды.

Испарение влаги из почвы хлопкового поля. Нами были проведены измерения испарения влаги из поверхности почвы за период от посева до сбора хлопка-сырца.

Методика измерения испарения основана на использовании «малых» испарителей объемом 1155 см^3 (диаметр 7 см, высота - 30 см). При этом площадь испарения из почвы составляет $0,004 \text{ м}^2$. Испаритель с почвой ненарушенной структуры вставлялся в почву и регулярно, каждые 5 суток взвешивался на полевых электронных весах. Почву с испарителями заменяли через каждые 5 суток. Одновременно с отбором проб почвы определялась влажность почвы нейтронным влагомером на глубину до 1 м и всасывающее давление почвы с помощью тензиометров ТП-1. Мульчирование почвы было проведено 21 июня.

Результаты измерений испарения влаги от начала до конца вегетационного периода приведены в таблице 2.16, в таблице 2.17 количество испарившейся влаги из почвы.

Результаты измерений масса почвы с тарой, г

Вар.	Повторения	Дата измерения		Название вариантов
		18.04-22.04	23.04-27.04	
1	I	2036,7*-1986,1**	1974,5-1994,8	Почва без мульчирования (контроль)
	II	1992,6-1939,2	2027,6-1977,1	
	III	2159,3-2110,9	2237,4-2188,7	
2	I	1924,5-1872,9	2150,2-2099,8	Почва, мульчирующая соломой
	II	2203,8-2154,1	2201,3-2152,3	
	III	2111,0-2061,5	1921,2-1867,5	
3	I	2213,8-2165,2	1881,4-1834,7	Почва, мульчирующая плёнкой
	II	2021,6-1971,4	1905,6-1853,3	
	III	1953,4-1902,7	2128,4-2077,9	

Примечание: * - масса почвы с тарой в начале пятидневки;

** - масса почвы с тарой в конце пятидневки.

продолжение таблицы 2.16

Результаты измерений масса почвы с тарой, г

Вар.	Повторения	Дата измерения								
		28.04-2.05	2.05-6.05	6.05-11.05	11.05-16.05	16.05-20.05	22.05-26.05	26.05-1.06	1.06-6.06	6.06-10.06
1	I	2013,4- 1964,0	2057,4- 2008,4	1937,3- 1882,0	2096,7- 2049,7	2026,6- 1978,0	1958,1- 1907,3	1845,7- 1789,4	1945,4- 1897,3	2015,4- 1951,9
	II	1986,7- 1936,4	2003,5- 1955,5	2114,8- 2061,8	1975,8- 1936,0	1939,4- 1893,0	2063,6- 2009,9	2056,3- 2000,7	2039,6- 1990,4	2191,7- 2124,9
	III	2134,8- 2087,8	1862,4- 1816,4	1900,3- 1849,0	1805,0- 1770,3	1942,0- 1894,1	1979,9- 1928,0	2025,5- 1965,2	2175,0- 2119,7	2108,9- 2060,2
2	I	2103,7- 2054,5	2016,5- 1968,0	1885,2- 1838,2	2013,1- 1967,0	1859,5- 1818,0	2005,2- 1950,4	2103,4- 2043,6	2087,7- 2035,4	2036,3- 1983,8
	II	2025,1- 1974,0	1938,4- 1892,4	2063,6- 2014,0	2164,3- 2115,5	2008,4- 1968,6	2116,3- 2066,7	1979,8- 1929,9	2091,8- 2040,3	2047,5- 1986,9
	III	1963,2- 1917,5	2039,3- 1994,0	2047,8- 1994,0	2087,2- 2044,8	2163,1- 2126,7	2200,2- 2148,8	2036,7- 1978,8	1892,9- 1832,5	1920,4- 1860,9
3	I	1975,4- 1928,4	2045,8- 1998,8	1955,3- 1903,0	2204,5- 2152,5	2032,3- 1984,0	2117,0- 2068,2	2147,8- 2086,4	2014,7- 1957,9	2025,6- 1964,1
	II	2012,5- 1963,0	1956,3- 1910,0	2034,7- 1986,1	1968,1- 1918,1	1947,8- 1897,7	2062,3- 2011,4	2201,5- 2143,9	2126,3- 2066,3	2131,2- 2066,4
	III	2023,8- 1973,8	1865,2- 1825,0	1997,4- 1956,4	2054,2- 2005,4	1953,6- 1905,1	2008,4- 1955,9	2019,7- 1960,8	2039,4- 1983,9	2003,4- 1944,0

Вар.	Повторения	Дата измерения								
		11.06-15.06	16.06-21.06	22.06-26.06	26.06-30.06	1.07-5.07	6.07-10.07	11.07-15.07	16.07-20.07	20.07-24.07
1	I	2148,7- 2072,6	2087,8- 2015,5	2120,5- 2056,3	2066,8- 1988,4	2140,5- 2071,3	1918,5- 1847,3	2031,2- 1968,7	1916,1- 1857,9	1938,0- 1871,5
	II	2236,4- 2168,0	2122,3- 2051,8	1966,5- 1911,0	2193,1- 2123,9	2132,3- 2059,8	2036,5- 1956,5	1995,6- 1930,4	2139,6- 2079,4	2039,3- 1969,0
	III	1996,3- 1928,1	2069,9- 2003,4	1895,4- 1835,9	1892,9- 1823,7	1969,2- 1898,9	2149,5- 2080,3	2014,5- 1942,0	2247,2- 2079,4	2014,5- 1946,1
2	I	2049,5- 2039,5	2147,4- 2088,9	2036,5- 1984,2	1947,8- 1879,3	2042,1- 1978,7	1990,2- 1935,0	2008,7- 1958,5	2229,3- 2178,9	1992,5- 1936,0
	II	2104,5- 2039,5	2263,5- 2203,7	2147,2- 2093,0	2021,1- 1953,8	2151,2- 2087,0	1896,5- 1837,2	2119,6- 5066,0	2268,7- 2219,5	2019,2- 1956,9
	III	2134,7- 2076,3	1921,8- 1859,4	2045,5- 1995,0	2034,4- 1964,2	2260,4- 2199,2	2016,3- 1956,1	2235,7- 2184,3	2172,9- 2126,4	2126,3- 2063,2
3	I	2210,0- 2149,9	1979,5- 1930,4	1990,2- 1940,1	1963,5- 1903,4	2130,4- 2078,1	2148,5- 2098,3	2155,2- 2107,0	1983,0- 1937,6	2265,2- 2216,7
	II	1987,2- 1928,8	2063,2- 2016,9	1986,3- 1938,0	1978,8- 1915,2	2205,6- 2150,9	2207,5- 2158,3	2208,4- 2161,7	1892,8- 1845,0	2157,3- 2109,9
	III	2045,6- 1995,9	2124,6- 2076,2	1920,9- 1873,4	1955,2- 1894,0	2190,5- 2139,9	2163,2- 2114,0	2160,6- 2110,3	1916,1- 1869,8	2027,2- 1977,0

Примечание: 21.06 было проведено мульчирование почвы

продолжение таблицы 2.16

Результаты измерений почвы с тарой, г

Вар.	Повторения	Дата измерения								
		25.07-29.07	30.07-4.08	5.08-9.08	10.08-14.08	15.08-19.08	20.08-24.08	25.08-29.08	30.08-3.09	4.09-8.09
1	I	2060,6-1990,5	2101,4-2036,2	1915,1-1854,8	2145,4-2090,2	1931,4-1879,1	2075,5-2024,9	2092,6-2044,2	2134,0-2081,4	2083,1-2036,6
	II	2163,5-2095,1	2026,5-1956,1	1929,6-1868,2	2230,1-2171,2	1817,6-1767,8	2118,6-2062,2	2232,7-2180,2	2290,1-2239,9	1972,4-1923,9
	III	1958,5-1889,0	2018,7-1947,5	1844,7-1777,9	1916,0-1859,7	1973,5-1923,4	2246,7-2191,5	2119,9-2059,7	1916,7-1866,9	1837,7-1787,6
2	I	2124,7-2068,9	1969,5-1915,2	2028,8-1977,6	1843,9-1795,3	2042,6-2002,0	2025,8-1984,6	2272,8-2232,6	1835,0-1793,5	2022,8-1986,3
	II	2206,3-2147,4	2047,8-1997,2	1963,5-1914,6	2049,7-2000,5	2109,8-2067,0	1946,9-1902,1	2256,3-2217,8	1921,3-1884,8	2166,0-2133,6
	III	1948,4-1890,8	2163,6-2108,2	1884,3-1837,1	2127,8-2080,5	2026,5-1986,1	1840,2-1795,2	2048,1-2005,5	2236,2-2199,0	2360,5-2330,5
3	I	1968,5-1918,7	2204,5-2158,9	2192,5-2147,2	2262,5-2222,4	1913,2-1874,7	1855,1-1816,5	1920,2-1887,8	2348,9-2314,5	2223,1-2193,1
	II	1887,3-1938,7	2197,8-2149,9	2006,6-1962,0	2041,3-1996,1	1861,4-1822,8	1952,0-1913,3	2041,5-2005,0	2264,0-2229,8	2038,2-2011,9
	III	1916,5-1865,2	2214,5-2168,2	2214,5-2166,7	1928,4-1885,6	1946,3-1905,1	2074,3-2033,1	2339,4-2299,7	2024,6-1991,1	2026,5-2001,1

Таблица 2.17

Количество испарившейся влаги из поверхности почвы за вегетационный период при выращивании хлопчатника, г (среднее из 3-х повторений)

Вар.	От посева до всходов		От всходов до полного покрытия листовой поверхностью хлопчатника										
	18-22.04	23-27.04	28.04-2.05	2-6.05	6-11.05	11-16.05	16-20.05	22-26.05	26.05-1.06	1-6.06	6-10.06	11-15.06	16-21.06
1	50,8	49,6	48,9	48,5	53,2	40,5	47,6	52,1	57,4	50,9	59,7	70,9	69,8
2	50,3	51,0	48,7	46,6	50,1	45,8	39,2	51,9	55,9	54,7	57,5	63,4	60,2
3	49,8	49,8	48,8	44,5	47,3	50,3	49,0	50,7	59,3	57,4	61,9	56,1	47,9
До полного созревания													
Вар.	22-26.06	26-30.06	1-5.07	6-10.07	11-15.07	16-20.07	21-25.07	25-29.07	30.07-4.08	5-9.08	10-14.08	15-19.08	20-24.08
1	63,4	74,0	70,7	73,5	66,7	59,9	68,4	69,3	68,9	62,8	56,8	50,7	50,1
2	52,3	68,3	62,9	58,2	51,7	48,8	60,6	57,4	53,4	49,1	48,4	41,7	43,7
3	48,6	61,6	52,5	49,4	48,4	46,5	48,7	49,9	46,6	45,9	42,4	39,4	39,5
Вар.	25-24.08	30.08-3.09	4-8.09	Всего			Среднее за 5 суток			Среднее за 1 сутки			
1	53,7	50,9	48,9	1688,1			58,2			11,6			
2	40,4	38,4	33,0	1483,6			51,2			10,2			
3	36,2	34,0	27,2	1389,6			47,9			9,6			

Как видно, в 1 контрольном варианте за вегетационный период хлопчатника из поверхности почвы испарителей количество испарившейся влаги составило - 1688,1 г, во 2 варианте где поливы проводились по мульчированным соломой бороздам - 1483,6 г и в 3 варианте, где поливы проводились по мульчированным чёрной полиэтиленовой пленкой бороздам - 1389,6 г. Эти показатели за одни сутки соответственно вариантам составили - 11,6, 10,2 и 9,6 г.

Таким образом, в варианте с поливом по мульчированным соломой бороздам испарение влаги за сутки было меньше на 1,4 г или на 12,1 % чем на контрольном варианте, а на варианте с пленочной мульчей этот показатель составил 2,0г или 17,2%.

При сравнении мульчированных вариантов соломой и плёнкой разница оказалась 0,6 г или 5,9 % в пользу варианта с поливом по пленочной мульче.

По результатам исследований установлено, что от посева до всходов, от всходов до полного покрытия междурядий листьями хлопчатника и от полного покрытия междурядий листьями хлопчатника до уборки урожая количество испарившейся влаги из почвы увеличивается в связи с увеличением температуры воздуха.

После мульчирования поливных борозд хлопчатника соломой и плёнкой количество испарившейся влаги из поверхности почвы оказалось меньше, чем на контрольном варианте. Так, среднее количество испарившейся влаги из поверхности почвы за 5 дней составляет: в 1 варианте - 61,8г; во 2 варианте - 50,5 г; 3 варианте - 44,8 г. Испарение влаги на варианте с мульчированием соломой борозд меньше относительно контрольного варианта на 11,3 г (18,3 %), а на варианте с мульчированием пленкой борозд на 17,0% (27,5%).

Пересчет количества испарившейся влаги из поверхности почвы из единицы измерения «грамм» в единицу измерения м³/га (мм) приведен в таблице 2.18.

Таблица 2.18

Результаты испарения влаги с поверхности почвы
хлопкового поля

Вар.	Всего за вегетацию	За 5 суток	За 1 сутки
1	1688,1г = 16,88 м ³ = 4200 м ³ /га = 420 мм	58,2г = 0,58 м ³ = 145 м ³ /га = 14,5 мм	11,6г = 0,116 м ³ = 29 м ³ /га=2,9 мм
2	1483,6г = 14,83 м ³ = 3700 м ³ /га = 370 мм	51,2г = 0,512 м ³ = 128,0 м ³ /га = 12,8 мм	10,2г = 0,102 м ³ = 25,5 м ³ /га=2,5 мм
3	1389,6г = 13,89 м ³ = 3472,5 м ³ /га = 347,2 мм	47,9г = 0,479 м ³ = 117,5 м ³ /га= 11,7 мм	9,6г = 0,096 м ³ = 24,0 м ³ /га=2,4 мм

Примечание: площадь испарителя 0,004 м².

Пример: 1г=0,000001м³; 1688,1г = 16,88 м³; 16,88 м³ – 0,004 м²; х – 10000 м²; х=16,88 *10000/0,004 м²=4200 м³/га.

Таким образом, количество испарившейся влаги из поверхности почвы за 1 сутки на контрольном варианте составило 2,9 мм, на варианте с мульчированием соломой 2,5 мм и на варианте с пленочной мульчей 2,4 мм.

Количество испарившейся влаги из поверхности почвы за вегетационный период хлопчатника по фазам развития приведено в таблице 2.19.

Таблица 2.19

Количество испарившейся влаги из поверхности почвы за
вегетационный период, мм

Вар.	От посева до всходов		От всходов до мульчирования почвы		От мульчирования почвы до конца вегетации	
	18.04-27.04		28.04-21.06		21.06-8.09	
	За 5 суток	За 1 суток	За 5 суток	За 1 суток	За 5 суток	За 1 суток
1	13,0	2,6	13,5	2,7	15,4	3,1
2	13,0	2,6	13,0	2,6	12,6	2,5
3	12,2	2,4	13,0	2,6	11,2	2,2

Как видно, количество испарившейся влаги из почвы за период от мульчирования борозд до конца вегетации в контрольном варианте за сутки составило 3,1 мм, в варианте с мульчированием соломой испарение влаги за сутки 2,5 мм, что на 0,6 мм или на 19,4 % меньше, чем на контрольном варианте, на варианте с пленочной мульчей за сутки испарилось 2,2 - это меньше, чем на контрольном варианте на 0,6мм или 29,0%. При сравнении мульчированных вариантов соломой и плёнкой разница оказалась равной 0,3 мм или 12,0 % в пользу варианта с поливом по пленочной мульче.

2.3.3. Экологические факторы мульчирования почвы на посевах хлопчатника

Эмиссия парниковых газов из почвы. Показателем биологической активности почвы принято считать концентрацию углекислого газа в почвенном воздухе. Так, по мнению Е.Н.Мишустина, биогенность почвы определяется суммарной активностью почвенных микроорганизмов, выражаемой энергией дыхания, измеряемой концентрацией углекислого газа почвенном воздухе.

В научной литературе существуют различные мнения относительно механизма образования CO_2 в почвенном воздухе. Одно из них основано на представления о почвенном покрове, как об открытом и неоднородном в пространстве биореакторе, в котором круговорот газообразных веществ осуществляет живое население почвы. Состав газовой фазы в нем регулируется исключительно деятельностью анаэробных и аэробных бактерий, интенсивность которой зависит от водного, теплового, питательного режимов почвы.

Согласно другому мнению, образование углекислоты в почвах с растительным покровом происходит преимущественно в результате жизнедеятельности корней растений.

В экологии атмосферы важная роль отводится углекислому газу. Так, по оценкам американской модели «Мир 2000г.» увеличение концентрации CO_2 может привести к альтернативным изменениям климата:

- к умеренному (сильному) глобальному похолоданию;
- к умеренному (сильному) глобальному потеплению.

Однако согласно другой информации: выводам Международной конференции, организованной Программой ООН по окружающей среде, Всемирной метеорологической организацией и Международным советом научных союзов (Филлах, 1985), следует ожидать потепления климата.

Уменьшение озона в атмосфере, обусловленное ростом выбросов углеводородов, также способствует усилению «парникового эффекта».

Расчеты показывают, что в результате техногенной деятельности и природных процессов в атмосферу планеты ежегодно поступает:

- углекислого газа - $26,4 \cdot 10^9$ т;
- метана - $375 \cdot 10^6$ т;
- закиси азота - $8,9 \cdot 10^6$ т;
- парниковых газов (суммарный эквивалент CO_2) - $37,05 \cdot 10^9$ т.

Не только промышленность, но и сельское хозяйство является важнейшим продуцентом парниковых газов, например, в Европе на его долю приходится 34,6% всего объема выбросов в атмосферу. В сельском хозяйстве главным источником малых парниковых газов является почва.

Известно, что в почвенных структурах концентрация углекислого газа намного выше, чем в атмосфере, в результате чего происходит газообмен, благодаря которому растения на 90% используют CO_2 почвы и только на 10% - CO_2 атмосферного воздуха. Исследованиями почвоведов доказано также, что эмиссия CO_2 на орошаемых и культивируемых полях выше, чем на необрабатываемых землях.

Исходя из важности проблемы воздухообмена в системе «почва-растение-атмосфера», нами проведены измерения состава почвенного воздуха и концентрации газов, входящих в его состав. В вариантах 1 и 3

пробы почвенного воздуха отбирались с глубины 20, 40, 60, 100, 120, 150, 200 см, а так же из респирометров.

В ходе исследований определялся состав и концентрация газов почвенного воздуха. Показатели концентрации кислорода (O_2), азота (N_2) и углекислого газа (CO_2) измерялись в объёмных процентах, а остальных газов - углеводородов - в 10^{-4} (0,001) объёмных процентах.

Анализ полученных данных показывает, что по содержанию азота и кислорода почвенный воздух практически одинаков с атмосферным, а содержание углекислого газа в нём существенно выше. Следует отметить, что в почвенном воздухе обнаружен достаточно широкий спектр летучих углеводородов.

По полученным данным выявлено среднее по слою почвы 0-100см содержание углекислого газа в почвенном воздухе в среднем по каждому году исследований: в контрольном варианте 1,81; 1,13; 0,98%об, в опытных вариантах 2,84; 1,43; 1,18% об. Как видно, от первого года исследований к третьему содержание углекислого газа в почвенном воздухе стабильно снижается. По этим данным получены степенные зависимости:

$$\text{для контрольного варианта} \quad K_{CO_2} = 1,7738 t - 0,5715, R^2 = 0,98,$$

$$\text{для опытного варианта} \quad K_{CO_2} = 2,7512 t - 0,82, R^2 = 0,97$$

где K_{CO_2} – концентрация углекислого газа, % об;

t - годы, 1, 2, 3.

По результатам исследований газового режима почвы построен график, на котором по сравниваемым вариантам - контрольному и опытному (1 и 3), показана динамика углекислого газа в почвенном воздухе (рис. 2.10).

В то же время полученные результаты по измерению содержания углекислого газа в выделяемом почвой воздухе показывают на преимущество мульчированной почвы. Анализ содержания углекислого газа в отбираемом из респирометров воздуха показывает, что если среднее его

содержание по годам исследований в контрольном варианте составляет 1,76 %об, то в варианте с мульчированной почвой - 0,84%об или на 47,7 относительных процентов меньше. В среднем за 2008, 2009гг. это преимущество еще больше - 0,69%об или 39,5 относительных процентов.

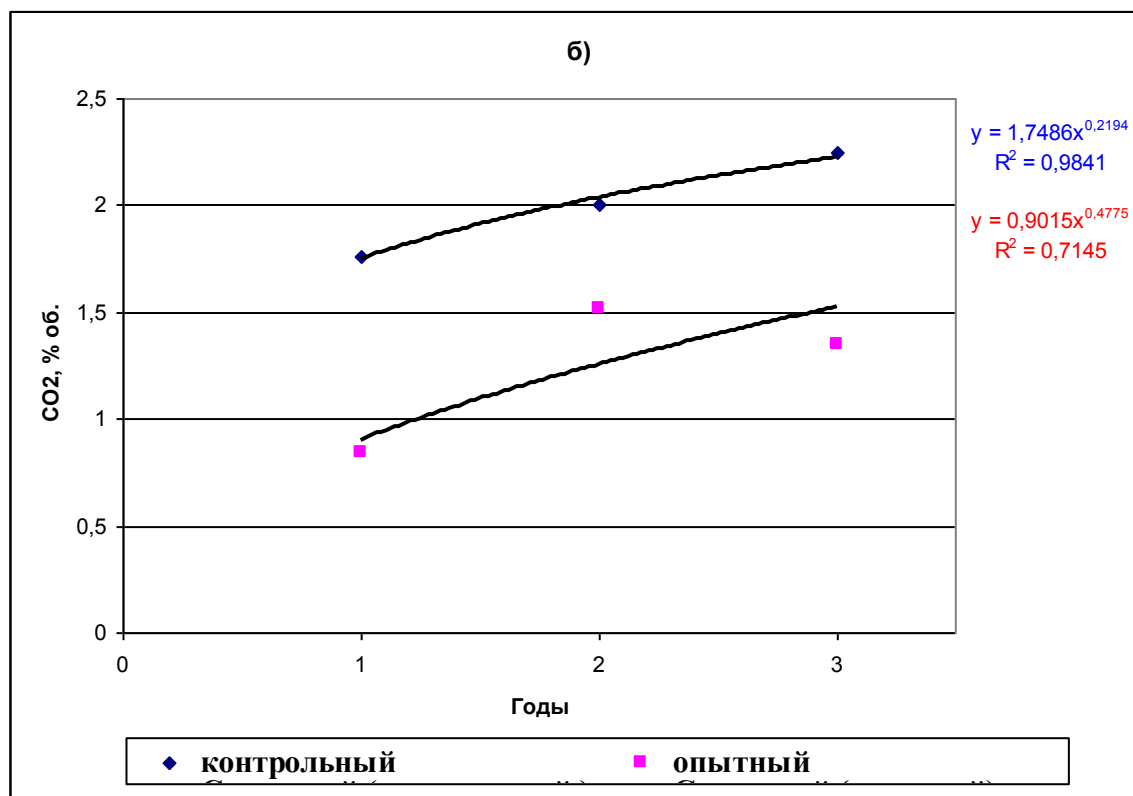


Рис. 2.10. Динамика содержания CO₂ в выделяемом почвой воздухе.

Таким образом, мульчирование почвы соломой способствует снижению эмиссии в атмосферу углекислого газа с хлопкового поля, а это, в свою очередь, приводит к тому, что хлопчатник в результате фотосинтеза больше использует CO₂ атмосферы, тем самым снижая парниковый эффект и улучшая качество приземного слоя воздуха. По этому факту можно сделать предположение об усилении эмиссии углекислого газа в атмосферу в эти годы и снижении интенсивности дыхания корневой системы

хлопчатника в результате увеличения интенсивности фотосинтеза, обусловленного ростом листовой поверхности растений. Однако это гипотеза, которая требует исследований по определению газообмена в системе «почва-растение-атмосфера».

Анализ состава газов почвенного воздуха показал, что в мульчированной почве концентрация углекислого газа выше, чем в немумльчированной, в ней также содержится большее количество летучих углеводородов. Это, в свою очередь, определяет более высокий уровень биогенности мульчированной почвы. Она способствует дополнительному питанию корневой системы хлопчатника минеральными солями. В первую очередь это касается фосфорных солей.

2.3.4. Результаты фенологических наблюдений за ростом и развитием хлопчатника

По методике УзНИИХ ежегодно 1.06; 1.07; 1.08; 1.09 проводились фенологические наблюдения за ростом, развитием и плодоношением хлопчатника. В таблице 2.20 представлены осредненные по трем повторениям опыта результаты наблюдений и определений за 2007г.

Анализируя данные фенологических наблюдений, проведенных 1 июня можно сказать, что между вариантами опыта существенной разницы нет, так как до поливов и мульчирования соломой поливных борозд все агротехнические мероприятия были одинаковые.

На 1 июля если рассматривать эти показатели по группам вариантов с разной технологией полива хлопчатника, то показатели второй группы вариантов (5,6,7,8) оказываются выше показателей вариантов первой группы (1,2,3,4) рост растений на 1,4-2,5см, количество симподиальных ветвей больше на 0,4, завязей на 0,3-0,6 штук.

Таблица 2.20

Рост и развитие хлопчатника

№ вар.	1.06		1.07			1.08					1.09				
	Высота, см	Кол-во наст, лист., штук	Высота, см	Кол-во симп, ветвей, штук	Кол-во плодо- элементов, штук	Высота, см	Кол-во симп, ветвей, штук	Кол-во плодо- элементов, штук	Кол-во завязей, штук	Кол-во коробо- чек	Высота, см	Кол-во симп, ветвей, штук	Всего количество коробочек, штук	в том числе раскрытые	
														штук	%
						2007г.									
1	12,5	4,8	33,6	5,1	5,0	71,9	8,7	9,8	1,2	3,3	80,8	10,6	8,3	3,2	38,5
2	12,0	4,7	35,3	5,8	5,5	74,6	9,0	10,1	1,3	3,6	83,1	10,9	8,7	3,6	41,4
3	12,4	4,9	33,8	5,2	5,1	79,5	9,3	10,2	1,8	4,6	90,2	11,4	9,8	4,5	45,9
4	12,7	5,1	33,4	5,1	5,0	83,0	9,5	10,4	1,6	5,4	96,3	12,6	10,2	5,1	50,0
5	12,7	5,2	35,6	5,5	5,6	74,2	8,8	10,1	1,3	4,3	84,3	11,2	9,0	4,1	45,5
6	12,3	5,0	36,7	5,8	5,8	77,4	9,1	10,4	1,5	4,4	86,6	11,8	9,9	4,5	45,5
7	12,6	4,9	35,2	5,6	5,6	86,8	9,5	10,9	1,6	5,5	95,6	12,1	10,3	5,4	52,4
8	12,4	5,0	35,9	5,5	5,5	89,9	9,7	12,5	1,9	5,6	102,3	12,6	11,0	6,4	58,2

На 1 августа отмечались уже четкие различия между вариантами опыта как по росту, так и по развитию хлопчатника, так как мульчирование (10 июля) соломой поливных борозд и другие агротехнические приёмы проведенные до этого дня существенно повлияли на рост и развитие растений. Так например, растения выращенные в 1 варианте при поливе постоянной струей по неуплотненным тракторными колесами бороздам высота главного стебля составила 71,9см, а в 5 варианте при такой же технике полива но прерывистой (импульсной) водоподаче этот показатель составил 74,2см что больше на 2,3см, в вариантах с техникой полива по чередующимся бороздам (2 и 6 варианты) разница в росте была 2,8см в пользу дискретной технологии полива, разница в росте при мульчировании борозд и разными технологиями полива (3 и 7 варианты) была 7,8см, так же в пользу дискретной технологии полива. Самые высокие показатели были в (4 и 8) вариантах с мульчированными бороздами с расчетными слоями 50-50-30см соответственно фазам развития хлопчатника 83,0-89,9см.

На 1 сентября выше приведенная закономерность сохранилась. Так, самые высокие показатели: высота главного стебля, количество сформировавшихся коробочек, были на вариантах с мульчированием почвы соломой - в четвертом и восьмом. В этих же вариантах оказалось больше раскрытых коробочек - 50,0 и 58,2% соответственно. Такая же закономерность в основном отмечена и в 2008 и 2009гг. Самые высокие показатели роста, развития и плодоношения хлопчатника сформировались в течение вегетационного периода в восьмом варианте. Это свидетельствует о том, что частые поливы хлопчатника сравнительно небольшими поливными нормами, снижение количества междурядных обработок мульчированной соломой почвы являются важными факторами получения высокого урожая хлопка-сырца.

2.3.5. Урожайность хлопчатника в зависимости от технологии орошения

Урожайность важнейший показатель, отражающий уровень интенсификации сельскохозяйственного производства. От величины урожайности зависят такие экономические показатели, как себестоимость, рентабельность, производительность труда и др.

Как известно, формирования урожая зависит от множества факторов. Главнейшие из них - плодородие почвы, густота стояния, агротехнические мероприятия, нормальная водообеспеченность, свойства сортов, условия погоды и др.

На вариантах, в опытах проведенных 2007-2009гг., которые отличаются техникой и технологией полива, при одинаковом плодородии почвы и прочих одинаковых агротехнике получена различная урожайность хлопка-сырца. В таблице 2.21 приведены средние по годам данные урожая хлопка-сырца.

Таблица 2.21

Урожай хлопка-сырца по годам исследований, ц/га

Варианты	2007г.	2008г.	2009г.	Средний урожай, ц/га	Прибавка урожая хлопка-сырца, ц/га
1	30,0	29,1	31,3	30,1	-
2	31,6	30,8	33,3	31,9	-
3	34,7	34,0	36,4	35,0	-
4	35,8	34,6	37,3	35,9	-
5	31,8	30,8	33,3	32,0	1,9
6	33,5	32,6	35,4	33,8	1,9
7	37,1	36,2	38,7	37,3	2,3
8	38,7	37,2	40,1	38,7	2,8
Sd (A) НСР ₀₅	0,32	0,52	0,30	-	-
Sd (B) НСР ₀₅	0,47	0,73	0,43	-	-

Анализ урожайных данных, приведенных в таблице 2.21 выявляет зависимость урожая хлопчатника от степени равномерности увлажнения почвы по длине борозд и условия водного режима растений: чем выше

равномерность увлажнения и создание тем самым оптимальных условий водного режима.

Первый вариант нашего опыта поливался по технологии полива постоянной струей по неуплотненным колесами бороздам. Средний урожай хлопка-сырца в этом варианте за годы исследования находился в пределах 30,1 ц/га.

На втором варианте где поливы производились по чередующимся бороздам с технологией полива постоянной струей средний урожай хлопка-сырца за годы исследования незначительно превышал показатели первого варианта и находился в пределах 31,9 ц/га.

Наиболее оптимальные условия по равномерности увлажнения почв по длине борозд и водного режима было получено в мульчированном 3 варианте опыта. Средний урожай хлопка-сырца за года исследований в этом варианте составил 35,0 ц/га.

В четвертом варианте опыта где поливы проводились по мульчированным бороздам постоянной водоподачей и расчетным слоем увлажнения 50-50-30см соответственно фазам развития хлопчатника наблюдалась значительная тенденция увеличения урожая. Это увеличение урожая по сравнению с 1,2,3 вариантами было в пределах от 5,8 до 0,9 ц/га. Средний урожай хлопка-сырца на варианте, который был равен за годы исследований 35,9 ц/га.

При поливе хлопчатника по импульсной технологии в вариантах 5,6,7,8 средний урожай за 3 года исследований составил 32,0, 33,8, 37,3 и 38,7 ц/га соответственно вариантам опыта. В данном случае большое влияние на повышение урожайности хлопчатника при прочих равных агротехнических условиях оказала технология полива.

Особенно усилилась эффективность импульсной технологии при мульчировании поливных борозд (7,8 варианты). Средний урожай хлопка-сырца в этих вариантах составил 37,3-38,7 ц/га или был больше, чем в вариантах 3 и 4 на 2,3-2,8 ц/га.

Высокий урожай, полученный в мульчированных 3,4,7,8 вариантах обуславливает необходимость отыскания обоснования этому факту. Особое внимание здесь привлекает отсутствие традиционных для хлопководства междурядных обработок, целью которых является создание благоприятного воздушного режима почвы.

Таким образом, проведенные УзНИИХ в период 2007-2009гг. опыты по изучению эффективности мульчирования почвы на землях, подверженных ирригационной эрозии, показали перспективность этого приема. Основой его мелиоративного эффекта служит сокращение эвапотранспирации хлопчатника, обусловленное существенным снижением физического испарения влаги.

2.3.6. Технологические свойства хлопка-сырца

Важным показателем, характеризующим качество и величину урожая хлопка-сырца является масса сырца одной коробочки. В таблице 2.22 приведены средние по повторениям такие показатели.

Таблица 2.22

Масса сырца одной коробочки по годам исследований, г

Варианты	2007г.	2008г.	2009г.	Средняя за три года
1	4,5	4,6	4,6	4,6
2	4,6	4,6	4,5	4,6
3	5,0	5,1	5,0	5,0
4	5,2	5,2	5,1	5,2
5	5,1	5,1	5,0	5,1
6	5,1	5,1	5,1	5,1
7	5,2	5,2	5,1	5,2
8	5,4	5,3	5,4	5,4

Как видно, в каждом году исследований наибольшую массу сырца имели коробочки восьмого варианта - 5,4г, наименьшую массу - коробочки хлопчатник первого и второго варианта - 4,6г. По этому показателю растения хлопчатника, второй группы вариантов опыта - с дискретной технологией полива (5,6,7,8), превосходят первую группу вариантов опыта с постоянной водоподачей при поливах (1,2,3,4).

В 2007г наибольший выход волокна был у сырца восьмого варианта - 38,5%, второе место у сырца седьмого варианта - 38,0%. Если средний показатель выхода волокна у группы вариантов 1-4 составил 37,05%, то у второй группы вариантов 5-8 - 37,5%. Разрывная сила оказалась максимальной у волокна восьмого варианта - 4,5гс. По этому показателю вторая группа вариантов также превосходит первую - 4,4 против 4,35гс.

В 2008г самый высокий выход волокна отмечен в восьмом варианте - 38,2%. По этому показателю вторая группа вариантов превосходит первую - 37,9 и 37,6 %. По разрывной силе вторая группа вариантов также превосходит первую - 4,4 и 4,3 гс соответственно.

В 2009 году самый высокий выход волокна отмечен в восьмом варианте - 38,6%, второе место у сырца седьмого варианта - 38,2%. Если средний показатель выхода волокна у группы вариантов 1-4 составил 37,4%, то у второй группы вариантов 5-8 - 38,0%. Разрывная сила оказалась максимальной у волокна восьмого варианта - 4,5гс. По этому показателю вторая группа вариантов превосходит первую - 4,37 против 4,35гс.

Как видно, применение водосберегающей технологии полива хлопчатника - дискретной технологии, способствует не только водосбережению, но и получению высокого урожая хлопка-сырца лучшего качества [11, 15, 17].

3. Использование тензиометров на незасоленных и засоленных почвах

3.1. Методика проведения исследований с помощью тензиометров марки «Иррометр»

На рисунке 3.1 представлена конструкция тензиометра марки «Иррометр». В комплекте прибора имеются 4 тензиометра, предназначенные для установки в почву на глубину 30, 50, 70 и 100 см, пузырёк с дезинфицирующей жидкостью зеленого цвета и вакуумнасос. Шкала вакуумметра проградуирована в сантиметрах, а диапазон измерения всасывающего давления почвы составляет 0-85 (90) сантиметр (или 0-8,5 (9,0) метров водного столба или 0-85 (90) кПа.

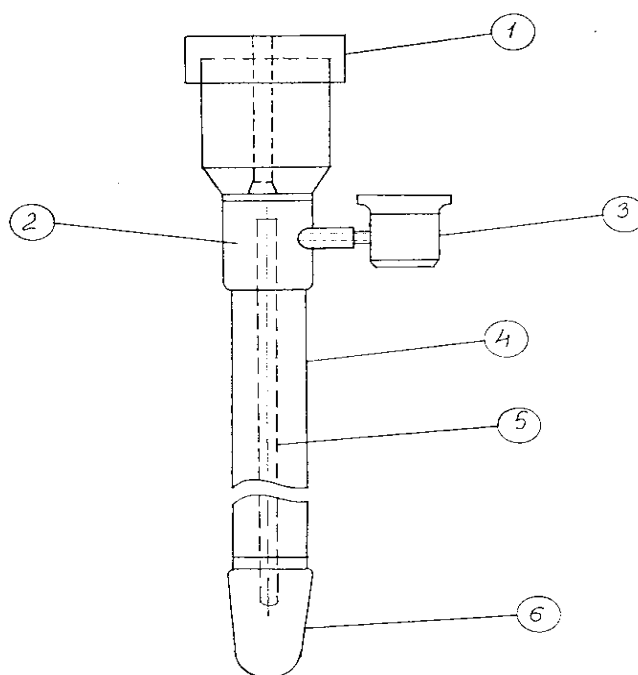


Рис. 3.1. Конструкция тензиометра «Иррометр», где: 1-крышка с пробкой; 2-воздухоулавливатель; 3-вакуумметр; 4-защитный корпус из прозрачного оргстекла; 5-трубка, заполняемая химически чистой водой; 6-керамический наконечник (фильтр)

Процесс работы тензиометра. Работа тензиометра основана на принципе водообмена между тензиометром и почвой при различном потенциале влаги почвы. Так, если потенциал влаги почвы меньше нуля, вода из тензиометра через керамический наконечник (фильтр) будет вытекать до установления одинакового потенциала влаги в системе почва-тензиометр. Такой процесс происходит при иссушении почвы в межполивной период. После увлажнения почвы в результате поливов, когда влажность почвы достаточно быстро увеличивается, вода из почвы отсасывается тензиометром до тех пор, пока не достигается равенство потенциалов влаги.

В аридной зоне циклы иссушения и увлажнения почвы повторяются многократно. Для надежной работы в течение вегетационного периода при таком частом опорожнении и заполнении водой тензиометра керамический фильтр с его порами размером 0,7-1,0 мкм не должен забиваться микроорганизмами, находящимися в почве и почвенном растворе. Это достигается заливкой тензиометров перед началом его работы дисциплированной или кипяченой водой с добавлением в нее нескольких капель стерилизующей жидкости (толуол и др.).

Диапазон всасывающего давления почвы охватывает нижний предел предполивной влажности почвы и верхнюю границу -наименьшую влагоемкость (НВ) почвы. Если верхняя граница диапазона обуславливается механическим составом почвы, то нижняя граница - видом и фазой развития орошаемой культуры.

Так, для супесчаных почв величина всасывающего давления при НВ составляет 5 сантибар (0,5метра водного столба), для тяжелосуглинистых 10 сантибар (1 метр водного столба).

Для установления нижнего предела предполивной влажности почвы традиционными методами (гравиметрическим, нейтронным) необходимо провести послойное ее измерение (по 10- или 20-сантиметровым слоям) и затем найти среднее для корнеобитаемого слоя почвы значение. Поскольку количество тензиометров ограничено - их нерационально устанавливать по

профилю почвы через каждые 10-20см - необходимо провести анализ адекватности одно - и двухточечного измерения влажности полному объему измерений: 10-кратному на глубину 1м по 10-сантиметровым слоям или 5-кратному по 20-сантиметровым слоям. Такой анализ необходимо провести по большому объему результатов измерений влажности почвы традиционным методом.

Количество представительных точек установки тензиометров определяется видом орошаемой культуры и организацией орошаемой территории. Целесообразно устанавливать тензиометры на каждом поливном участке. Для планирования мест и глубины установления тензиометров важное значение имеет способ полива сельхозкультур. Основными способами полива суходольных культур являются поверхностный (по бороздам, полосам), дождевание и капельное орошение.

Поскольку дождевание и капельное орошение обеспечивают проведение поливов безнапорной инфильтрацией, это создает предпосылки для проведения частых поливов небольшими поливными нормами. В связи с этим расчетный увлажняемый слой почвы может быть уменьшен и на поливных участках с такими водосберегающими способами полива достаточно устанавливать по одному 30-сантиметровому тензиометру.

В показания тензиометров необходимо вносить поправку, обусловленную высотой их водной камеры. Так, из показаний 30-сантиметрового тензиометра следует вычесть 3сб, из 70-сантиметрового - 7 сб.

Для определения сроков полива культур необходимо регулярно следить за показаниями тензиометров. Срок наступления поливов хлопчатника назначается по показаниям тензиометров: до цветения и цветение-плодообразование -55-60 и в период созревания – 60-70 кПа.

В то же время в производственных условиях тензиометры, установленные на глубину 30см, иногда выходят из рабочего состояния. Как установлено, это связано с иссушением верхнего слоя почвы, когда вся

рабочая жидкость прибора через керамический наконечник высасывается почвой и происходит разгерметизация тензиометра. Подобные случаи возникают при задержках с поливами, обусловленными хозяйственными причинами. Дозаправка прибора новой порцией жидкости в этом случае бесполезна, так как вследствие высокого всасывающего давления почвы прибор быстро разрядится и перестанет работать. Перезарядку тензиометра следует проводить после полива.

Тем не менее, контроль влажности почвы можно продолжить по показаниям тензиометра, установленного на глубину 70см. Анализ большого числа послойных измерений влажности почвы с помощью статистических методов показывает, что с вероятностью 87,9 % и средней квадратической ошибкой 1,65 % влажность 1 м слоя почвы можно определять по показаниям тензиометра, установленного на глубину 70см. Для этого необходимо объемную влажность почвы, соответствующую слою 60-80см, уменьшить на 3% и по полученному значению, пользуясь тарировочным графиком или таблицей, определить значение всасывающего давления почвы. Если оно соответствует нижнему пределу предполивной влажности, то необходимо начинать полив.

Для установления размера поливных норм необходимо иметь график зависимости всасывающего давления от влажности почвы $P_s = f(W)$. Такой график следует построить на основании полевых измерений влажности почвы гравиметрическим методом и всасывающего давления почвы тензиометрами. Поскольку поливные нормы удобно представлять в куб.м/га, влажность почвы на графике $P_s = f(W)$ рекомендуется выражать в объемных процентах. Это в свою очередь требует определения объемной массы почвы.

В представленном на рис. 3.2 графике показаны зависимости $P_s=f(W)$ для легких, средних и тяжелых по механическому составу почв, полученные на основе большого числа измерений на сероземных почвах.

С помощью представленного графика по значению всасывающего давления определяются фактические влагозапасы в расчетном слое почвы

(W_{ϕ}). Зная размер влагозапасов при наименьшей влагоемкости почвы ($W_{нв}$), до уровня которого необходимо пополнить влагозапасы поливом, можно рассчитать величину поливной нормы. Она будет равна разности $W_{нв}-W_{\phi}$, которая представляет собой дефицит влаги расчетного слоя почвы или поливную норму нетто.

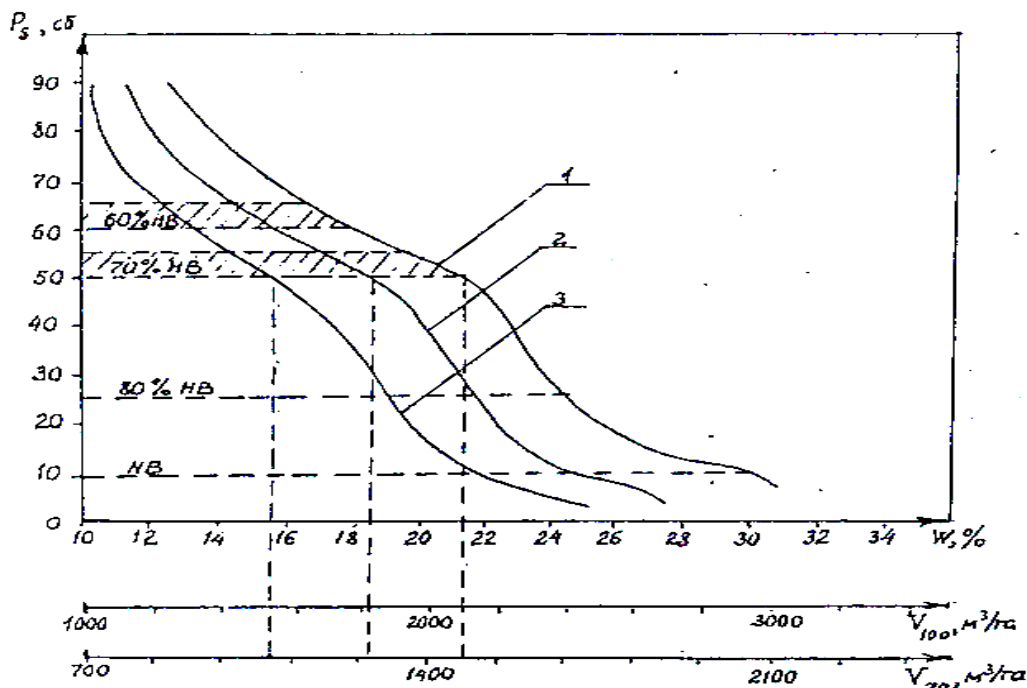


Рис. 3.2. Зависимость всасывающего давления (P) от объёмной влажности почвы (W) 1-тяжёлый суглинок; 2-средний суглинок; 3-легкий суглинок (V_{70} , V_{100} – влагозапасы в слое почвы 70 и 100см)

Умножив полученное значение на коэффициент K , учитывающий потери воды при поливах, включающие потери на испарение, фильтрацию и возможный поверхностный сброс, получают поливную норму брутто

$$m = (W_{нв} - W_{\phi}) K, \quad \text{куб.м/га}$$

Тензиометры, стационарно установленные на поле, позволяют не только назначать сроки и нормы поливов, но и фиксировать срок завершения

полива. Как только стрелка вакуумметра начнет приближаться к значению 10-15 сантибар подачу воды на поле следует прекратить. Такая фиксация размера забранной на орошение воды позволяет и фермеру и водохозяйственным органам проводить взаиморасчеты по поставке воды хозяйству и ее оплате.

3.2. Результаты исследований по установлению зависимости влажности почвы от всасывающего давления

В настоящее время тензиометры выпускаются в ряде стран (Украине, России, США, Израиле, Франции) и широко используются при выращивании на орошаемых землях различных сельскохозяйственных культур. Анализ литературных данных показал, в частности, что использование тензиометров в хозяйствах позволяет экономить до 50 % воды при одновременном повышении урожайности сельскохозяйственных культур на 15-20 %.

Одним из первых шагов в реализации поставленных перед учеными Узбекистана задач в области рационального использования водных ресурсов, в 2009 году институтами САНИИРИ и УзНИИХ были проведены работы по ускоренному методу определения сроков полива и уточнению фактической поливной нормы орошаемых сельхозкультур с применением тензиометров «Irrrometer» производства США.

Полученные данные показали, что регулярные наблюдения за режимом орошения с помощью тензиометров дадут возможность экономного расходования оросительной воды при соблюдении агротехнических мероприятий по требуемому увлажнению почвы для данной сельхоз культуры. Вместе с тем, следует отметить, что широкому распространению тензиометров в нашей стране препятствует ряд факторов. С одной стороны, недостаточная осведомленность фермеров о наличии современных способов контроля поливов, высокая стоимость импортных тензиометров,

составляющая, в зависимости от страны производителя и размера, 50-100 долларов США (без учета транспортных и таможенных расходов).

С учетом полученных результатов, по инициативе Республиканского Совета по вопросам учета рационального управления экономии и эффективного использования водных ресурсов, Институтом материаловедения НПО «Физика-Солнце» АН РУз, совместно с Институтом хлопководства и САНИИРИ была создана конструкция отечественного тензиометра.

За основу были выбраны наиболее простые тензиометры типа «ВП-100» (Украина) и «Irrrometer» (США), состоящих из трех герметично соединены между собой основных узлов: 1) пористого керамического зонда; 2) водной камеры; 3) вакуумного манометра.

Была изготовлена опытная партия тензиометров ТП-1, впоследствии установленных в ряде областей Узбекистана для проведения полевых испытаний. На рисунке 3.3 приведена конструкция узбекского тензиометра ТП-1.

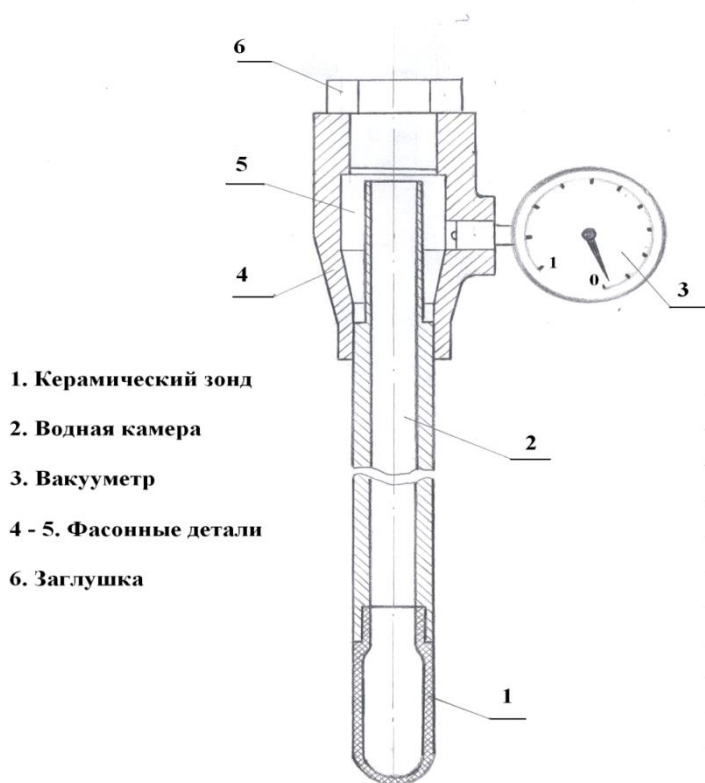


Рис. 3.3. Конструкция тензиометра ТП-1

Глубина установки тензиометров составляла 0-50см. Одновременно определяли влажность почвы термостатно-весовым или нейтронным методом. В таблице 3.1 приведена характеристика почвы на местах проведения испытаний.

Таблица 3.1

Характеристика почвы в местах проведения испытаний

Место проведения испытаний (область)	Характеристика почвы					
	Тип	Механический состав	Засоленность	Плотность, г/см ³	ППВ, %	Глубина залегания грунтовых вод, м
Ташкентская	Типичный серозем	Средне-тяжелый суглинок	незасоленная	1,34	21	> 20
Самаркандская	Светлый серозем	Средне-суглинистая	незасоленная	1,32	21,9	7-8
Ферганская	Луговая сазовая	Тяжело-суглинистая,	слабозасоленная	1,36	25,2	1,6-1,8
Сырдарьинская	Сероземно-луговая	Легко-суглинистая	слабозасоленная	1,32	31	1,5-2,0

В ряде регионов (Ташкентской и Самаркандской областях) параллельно проводились контрольные измерения с помощью тензиометров «Irrrometer» (США). На рис. 3.4 и 3.5 приведены результаты измерений в различные периоды наблюдений в Ташкентской области на опытном участке Института хлопководства, на рис. 3.6 - в Самаркандской области.

Как видно из приведенных данных зависимость всасывающего давления обратно пропорциональна влажности почвы, причем характер кривых для разных тензиометров идентичен.

Испытания тензиометров ТП-1 проводились также в Ферганской области. За время испытаний было проведено два полива. Первый - перед установкой тензиометра, второй - по достижении влажности почвы около 17 % (70% от ППВ) (рис. 3.7) Там же приведены данные по испытаниям, проведенным в Сырдарьинской области.

Представленные на рис. 3.7 результаты измерений по разным областям согласуются с известными данными о зависимости всасывающего давления от механического состава почвы. При одинаковой влажности на более тяжелых почвах показания тензиометров увеличиваются в 2-2,5 раза.

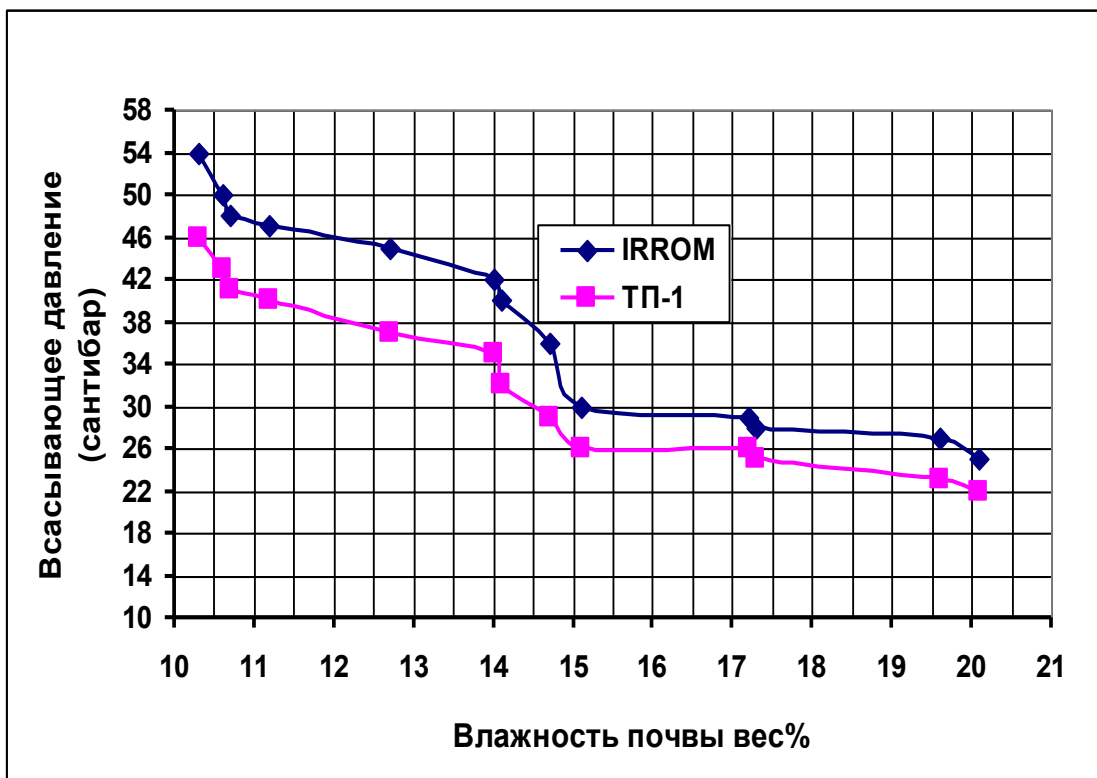


Рис. 3.4. Зависимость всасывающего давления от влажности почвы

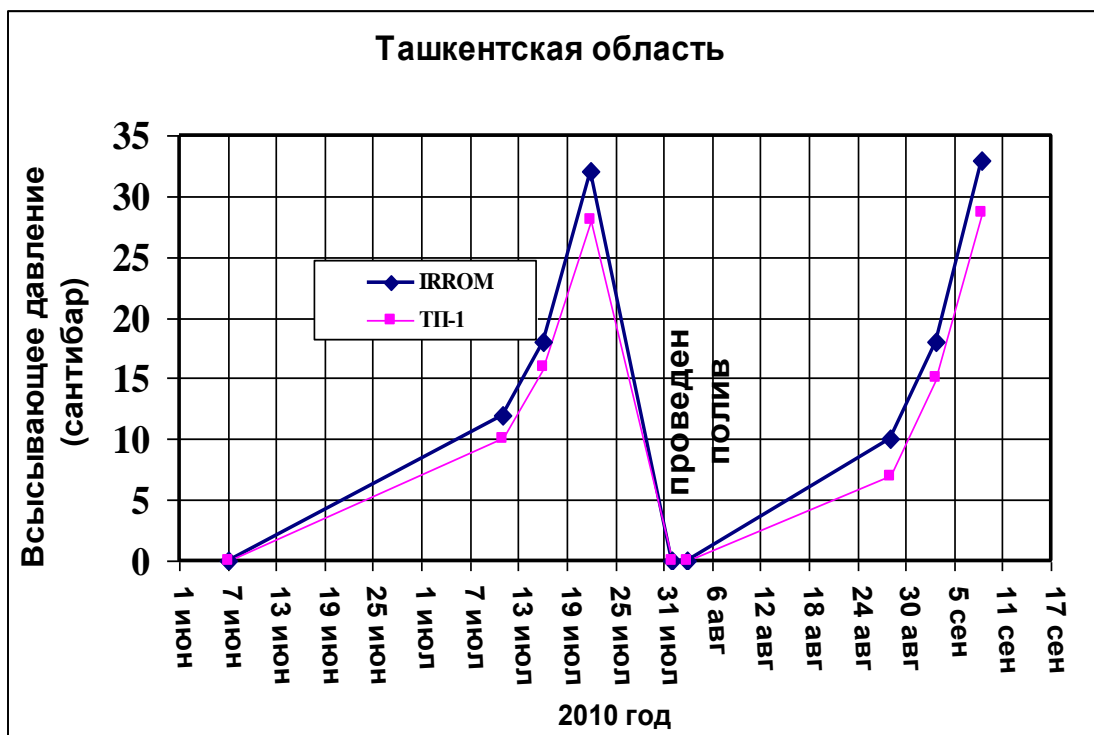


Рис. 3.5. Динамика всасывающего давления почв по показаниям тензиометров ТП-1 и IRROMETER (Ташкентская область)

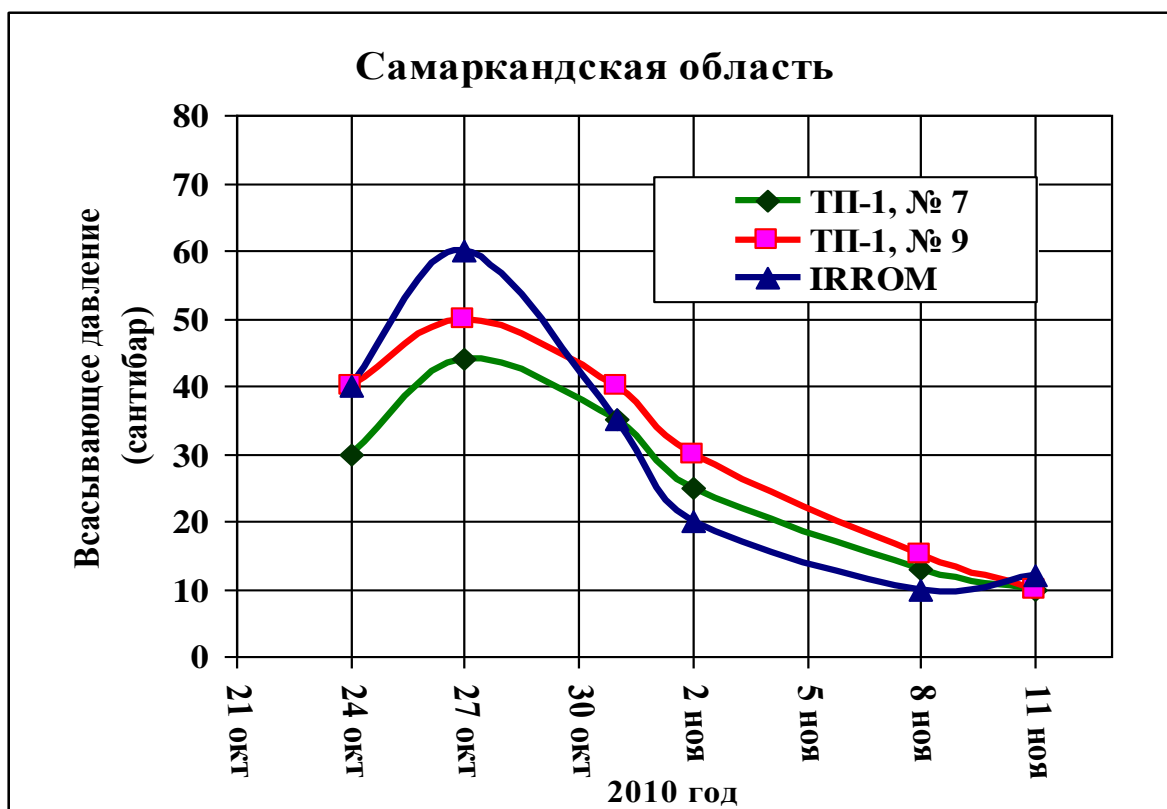


Рис. 3.6. Динамика всасывающего давления почв по показаниям различных тензиометров (Самаркандская область)

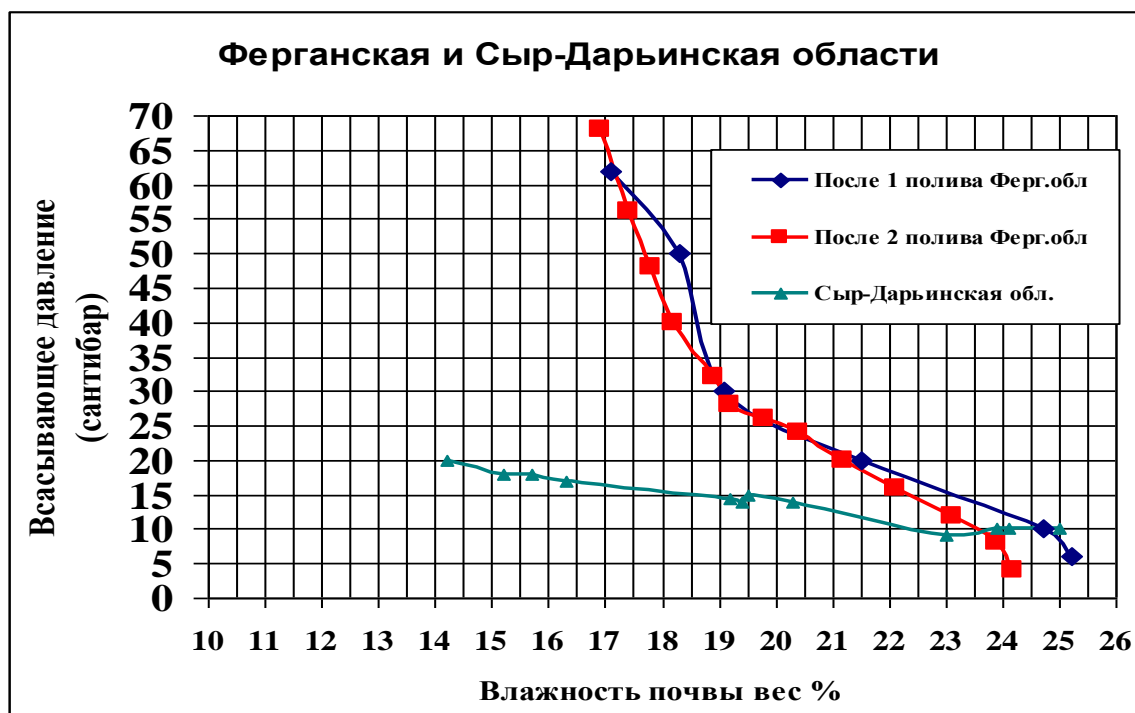


Рис. 3.7. Зависимость всасывающего давления тензиометров ТП-1 от влажности почвы (Ферганская и Сырдарьинская области)

Таким образом, в Узбекистане создан собственный оригинальный тензиометр. В приложении 1 представлена Инструкция по эксплуатации тензиометров.

В трех областях Узбекистана (Ферганской, Самаркандской и Ташкентской областях) в 2011 г. была проведена тарировка тензиометров узбекского производства и на их основе внедрена система оперативного планирования орошения.

В таблице 3.2 приведены наименования объектов и количество установившихся тензиометров.

Таблица 3.2

Наименование и характеристика почвы объектов исследований

Место проведения испытаний (область)	Характеристика почвы					
	Тип	Механический состав	Засоленность	Плотность, г/см ³	ППВ, %	Глубина залегания грунтовых вод, м
Ферганская	лугово-сазовая	тяжело-суглинистая,	слабозасоленная	1,35	24,9	1,6-1,8
Самаркандская	светлый серозем	средне-суглинистая	незасоленная	1,32	21,9	7-8
Ташкентская	типичный серозем	средне-тяжелый суглинок	незасоленная	1,34	21,0	> 20

Ферганская область. Исследования проводились на лугово-сазовых почвах, с тяжелым механическим составом с высокой минерализацией грунтовых вод. Уровень грунтовых вод находится на глубине 1,6-1,8м. Объёмная масса почвы в среднем в метровом слое составляет 1,35 г/см³, наименьшая влагоёмкость почвы 24,9% относительно сухой массы почвы. Тензиометры были установлены после первого полива. Режим предполивной влажности почвы относительно наименьшей влагоёмкости почвы принят на уровне 70-70-60%.

В таблице 3.3 приведены данные параллельных измерений влажности почвы термостатно-весовым методом и всасывающего давления почвы тензиометром.

Показания измерений влажности и всасывающего
давления почвы

Дата определений	Показания	
	Тензиометра, сб	Влажности почвы, %
26.06	0	-
27.06	6	24,1
28.06	10	23,7
29.06	20	21,1
30.06	30	19,0
2.07	48	18,4
3.07	52	17,9
4.07	2-полив	
5.07	0	-
6.07	0	-
7.07	4	-
8.07	8	-
9.07	12	-
10.07	17	24,2
11.07	19	23,5
12.07	23	23,0
13.07	25	21,4
14.07	27	20,6
15.07	31	19,9
16.07	38	19,4
17.07	45	19,1
18.07	47	18,2
19.07	49	18,0
20.07	52	17,6
21.07	63	17,4
22.07	3-полив	
23.07	0	-
24.07	0	-
25.07	5	-
26.07	10	-
28.07	12	-
29.07	15	25,8
30.07	18	24,0
31.07	20	23,4
1.08	30	20,0
2.08	40	19,7
3.08	45	19,0
4.08	48	18,9
5.08	52	18,7
6.08	55	18,4
7.08	58	18,0
8.08	60	17,7
9.08	62	17,3
10.08	65	17,0

Испытания тензиометров ТП-1 в Ферганской области проводились одновременно измерениями влажности почвы с помощью термостатно-весовым методом. На рис. 3.8, 3.9 и 3.10 приведены результаты измерений в межполивные периоды. За время испытаний было проведено четыре полива. Тензиометры были установлены сразу после первого полива. Второй полив был проведен по достижении влажности почвы около 17,9 % (71,8% от НВ) (рис. 3.8), третий полив был проведен по достижению влажности почвы около 18,0% (72,3 от НВ) (рис. 3.9) и четвертый полив (в период плодообразования) был проведен по достижению влажности почвы около 17,0% (68,3 от НВ) (рис. 3.19).

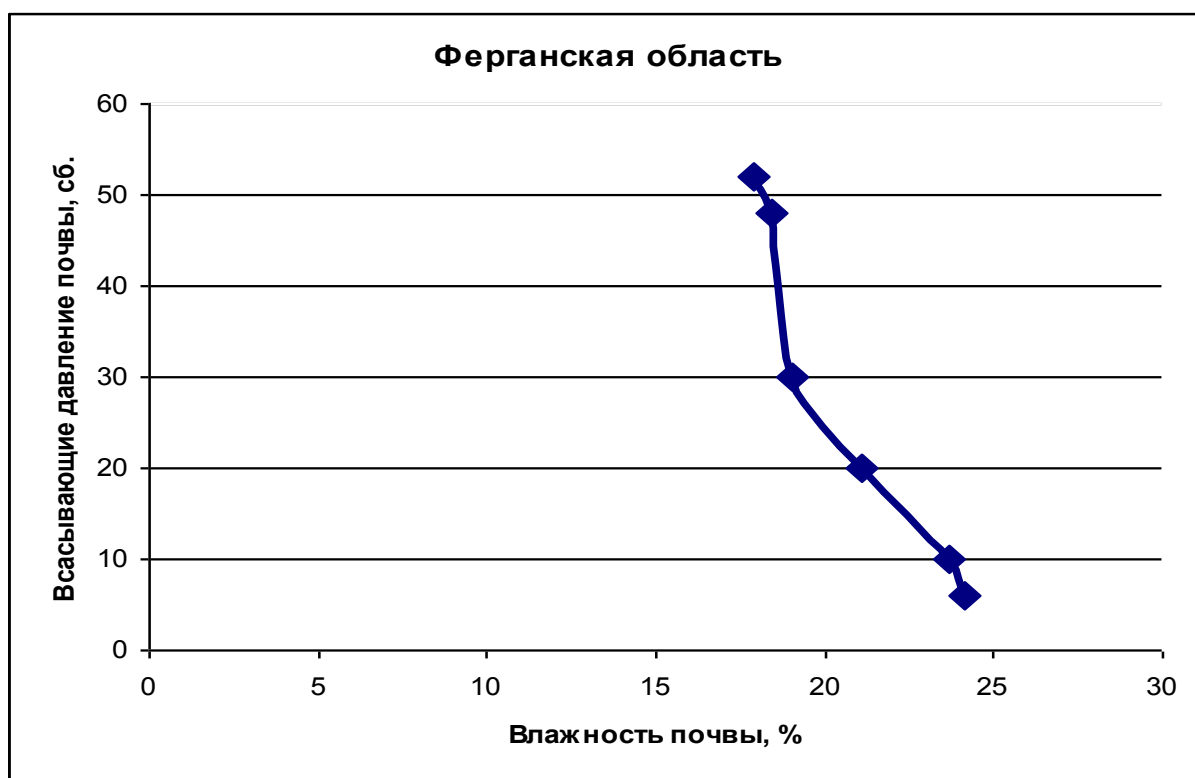


Рис. 3.8. Зависимость всасывающего давления от влажности почвы в период между первым и вторым поливом

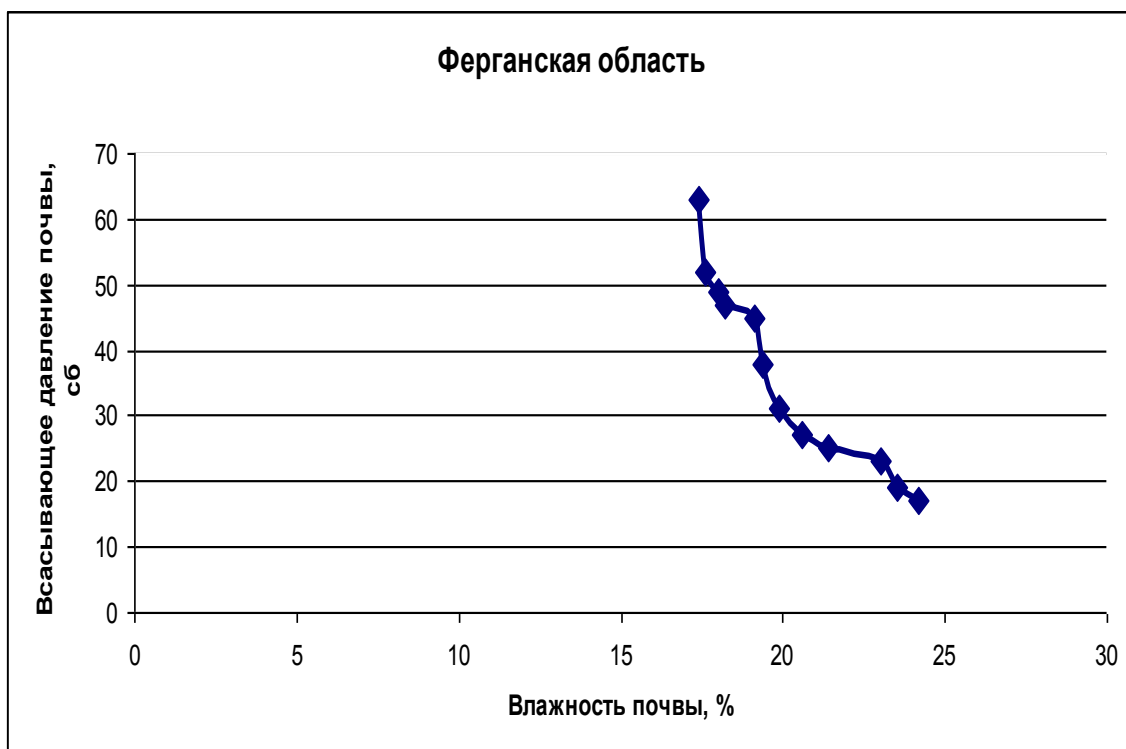


Рис. 3.9. Зависимость всасывающего давления от влажности почвы в период между вторым и третьим поливом

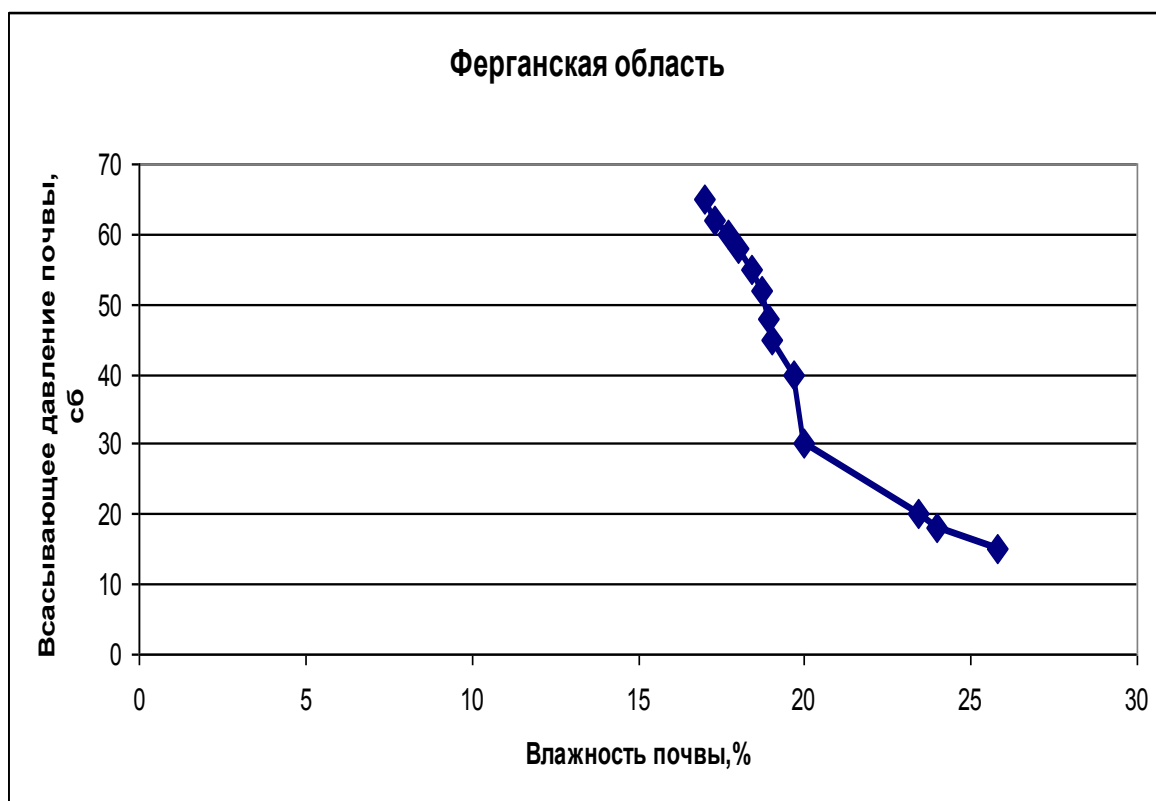


Рис. 3.10. Зависимость всасывающего давления от влажности почвы в период между третьим и четвертым поливом

Из приведенных данных видно что, зависимость всасывающего давления обратно пропорциональна влажности почвы, причем характер кривых для разных методов измерений идентичен.

Самаркандская область. Исследования проводились на светло-сероземных почвах, с среднесуглинистой механическим составом. Уровень грунтовых вод находится на глубине 7-8м. Объемная масса почвы в среднем в метровом слое составляет 1,32 г/см³, наименьшая влагоёмкость почвы 21,9% относительно сухой массы почвы. Тензиометры были установлены после до первого полива. Режим предполивной влажности почвы относительно наименьшей влагоёмкости почвы принят на уровне 70-70-60%.

В таблице 3.5 приведены данные параллельных измерений влажности почвы термостатно-весовым методом и всасывающего давления почвы тензиометром.

Таблица 3.5

Показания измерений влажности и всасывающего
давления почвы

Дата определений	Показания	
	Тензиометра, сб	Влажности почвы, %
2.06	0	21,2
3.06	10	20,8
4.06	10	20,6
5.06	10	20,2
6.06	20	19,8
7.06	20	19,5
8.06	20	19,1
9.06	30	18,6
10.06	35	18,1
11.06	35	17,6
12.06	35	17,4
13.06	40	17,0
14.06	49	16,5
15.06	55	16,0
16.06	62	15,5
17.06	1-полив	
18.06	0	21,5
19.06	0	21,3
20.06	0	21,3
21.06	0	21,0
22.06	10	20,8
23.06	10	20,6
24.06	10	20,5
25.06	10	20,2
26.06	20	19,8
27.06	20	19,6
28.06	20	19,2
29.06	25	18,8
30.06	25	18,4

1.07	28	18,0
2.07	30	17,4
3.07	30	17,0
4.07	40	16,5
5.07	50	16,2
6.07	60	15,8
7.07	68	15,1
8.07	2-полив	
9.07	0	21,8
10.07	0	21,4
11.07	0	21,0
12.07	0	20,8
13.07	0	20,5
14.07	5	20,1
15.07	10	19,6
16.07	10	19,2
17.07	10	19,0
18.07	15	18,4
19.07	20	18,1
20.07	25	17,6
21.07	30	17,1
22.07	40	16,7
23.07	48	16,2
24.07	52	15,9
25.07	60	15,5
26.07	66	15,0
27.07	3-полив	
28.07	0	20,9
29.07	10	20,5
30.07	10	20,0
31.07	15	19,6
1.08	15	19,3
2.08	20	19,0
3.08	25	18,8
4.08	30	18,2
5.08	30	17,9
6.08	45	17,5
7.08	48	17,1
8.08	53	16,8
9.08	55	16,3
10.08	60	16,1
11.08	60	15,9
12.08	63	15,6
13.08	65	15,3
14.08	68	15,1
15.08	68	14,8
16.08	70	14,4
17.08	70	14,0
18.08	74	13,8
19.08	75	13,4
20.08	75	13,0
4-полив		

Испытания тензиометров ТП-1 в Самаркандской области проводились одновременно измерениями влажности почвы с помощью термостатно-весовым методом. На рис. 3.11, 3.12, 3.13 и 3.14 приведены результаты измерений до первого полива и в межполивные периоды. За время испытаний было проведено четыре полива. Тензиометры были установлены до первого полива. Первый полив был проведен по достижении влажности почвы около 15,5 % (70,8% от НВ) (рис. 3.11), второй полив был проведен по достижении влажности почвы около 15,1% (68,9% от НВ) (рис. 3.12), третий полив был проведен по достижению влажности почвы около 15,0% (68,5от НВ) (рис. 3.13) и четвертый полив (в период созревания) был проведен по достижению влажности почвы около 13,0% (59,4% от НВ) (рис. 3.14).

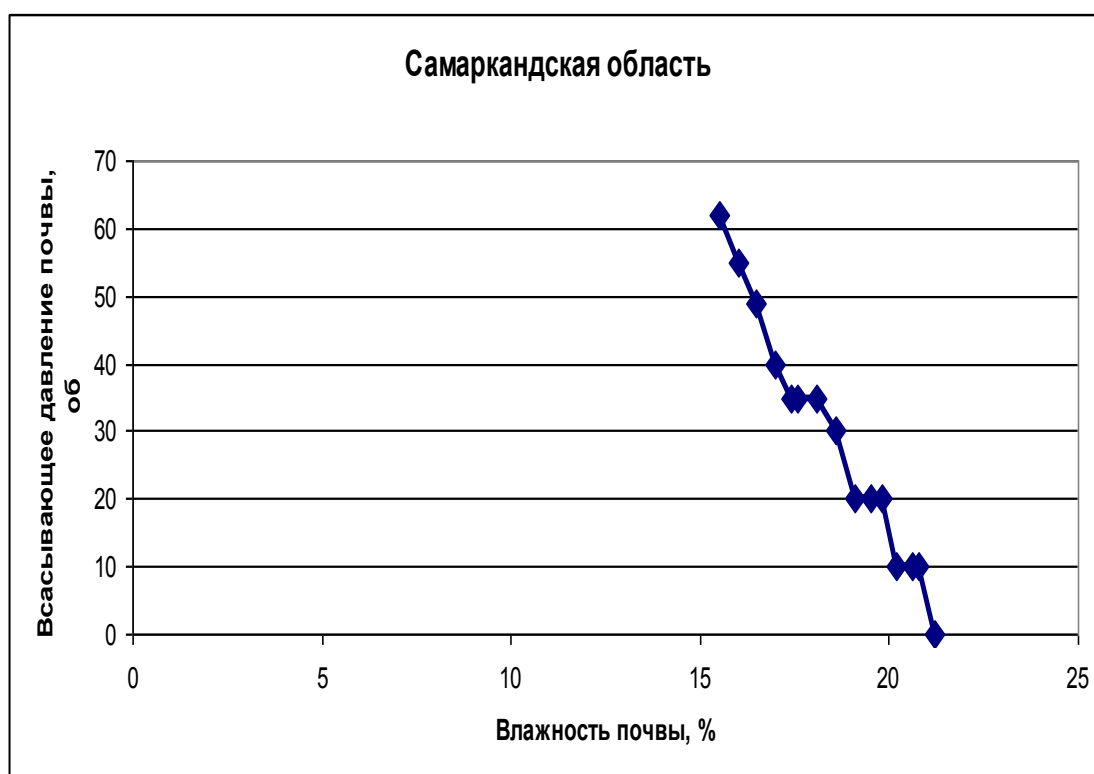


Рис. 3.11. Зависимость всасывающего давления от влажности почвы в период до первого полива



Рис. 3.12. Зависимость всасывающего давления от влажности почвы в период между первым и вторым поливом

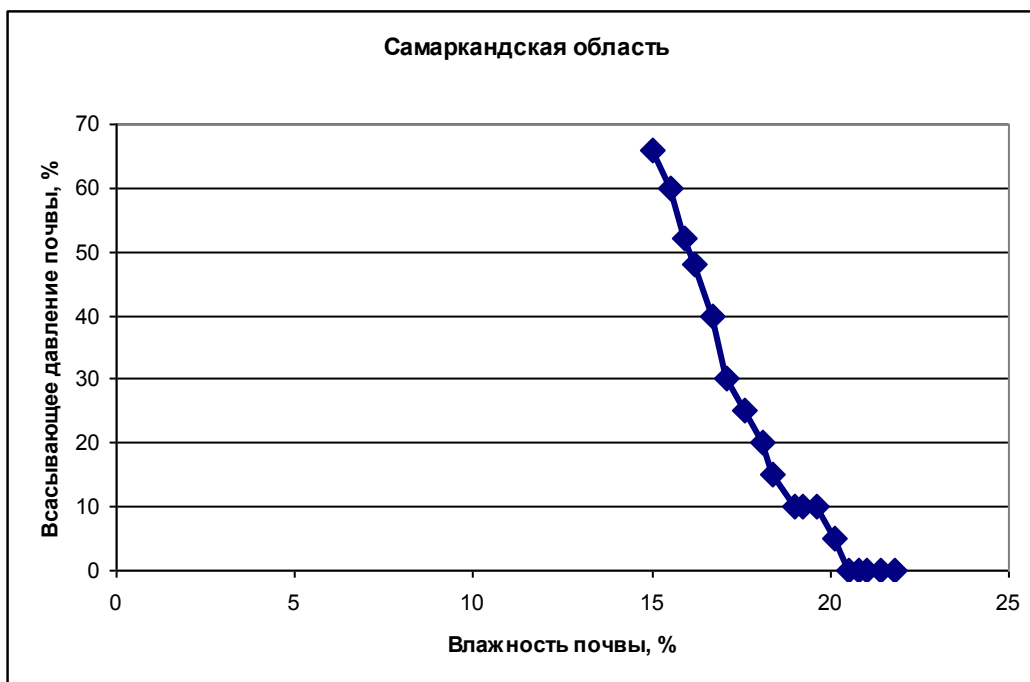


Рис. 3.13. Зависимость всасывающего давления от влажности почвы в период между вторым и третьим поливом



Рис. 3.14. Зависимость всасывающего давления от влажности почвы в период между третьим и четвертым поливом

Из приведенных данных видно что, зависимость всасывающего давления обратно пропорциональна влажности почвы, причем характер кривых для разных методов измерений идентичен.

Ташкентская область. В Ташкентской области исследования проводились на почвах с типичным сероземом, с средне-тяжёлосуглинистым механическим составом. Уровень грунтовых вод находится на глубине более 20 м. Объёмная масса почвы в среднем в метровом слое составляет $1,34 \text{ г/см}^3$, наименьшая влагоёмкость почвы 21,0% относительно сухой массы почвы. Тензиометры были установлены после второго полива. Режим предполивной влажности почвы относительно наименьшей влагоёмкости почвы принят на уровне 70-70-60%.

В таблице 3.5 приведены данные параллельных измерений влажности почвы нейтронным влагомером производства США и всасывающего давления почвы тензиометром.

Показания измерений влажности и всасывающего
давления почвы

Дата определений	Показания	
	Тензиометра, сб	Влажности почвы, %
22.06	0	20,9
23.06	0	20,6
24.06	0	20,0
25.06	10	19,7
26.06	10	19,2
27.06	15	18,7
28.06	15	18,3
29.06	20	18,0
30.06	24	17,8
1.07	28	17,4
2.07	31	17,1
3.07	34	16,8
4.07	39	16,6
5.07	45	16,2
6.07	48	15,6
7.07	52	15,2
8.07	58	14,9
9.07	65	14,4
10.07	3-полив	
11.07	10	20,0
12.07	10	19,4
13.07	15	19,0
14.07	15	18,8
15.07	20	18,5
16.07	20	18,2
17.07	20	17,9
18.07	30	17,6
19.07	35	17,3
20.07	38	17,0
21.07	40	16,8
22.07	43	16,4
23.07	48	16,1
24.07	50	15,8
25.07	52	15,6
26.07	52	15,3
27.07	54	15,0
28.07	60	14,7
29.07	63	14,1
30.07	4-полив	
31.07	0	20,5
1.08	10	20,0
2.08	10	19,5
3.08	15	19,1
4.08	15	18,9
5.08	20	18,6
6.08	25	18,5
7.08	25	18,2
8.08	30	17,9
9.08	32	17,6
10.08	36	17,2
11.08	38	17,0
12.08	42	16,8
13.08	44	16,5

14.08	48	16,3
15.08	48	16,0
16.08	52	15,7
17.08	54	15,5
18.08	58	15,3
19.08	63	15,0
20.08	65	14,5
21.08	65	14,2
22.08	68	13,8
23.08	68	13,5
24.08	70	13,2
25.08	72	12,9
26.08	75	12,3
5-полив		

Испытания тензиометров ТП-1 в Ташкентской области проводились одновременно измерениями влажности почвы с помощью термостатно-весовым методом. На рис. 3.15, 3.16 и 3.17 приведены результаты измерений до первого полива и в межполивные периоды. За время испытаний было проведено три полива. Тензиометры были установлены сразу после второго полива. Третий полив был проведен по достижении влажности почвы около 14,4 % (68,6% от НВ) (рис. 3.15), четвертый полив был проведен по достижении влажности почвы около 14,1% (67,1% от НВ) (рис. 3.16) и пятый полив (в период созревания) был проведен по достижению влажности почвы около 12,3% (58,6от НВ).

Из приведенных данных видно что, зависимость всасывающего давления обратно пропорциональна влажности почвы, причем характер кривых для разных методов измерений идентичен.

Таким образом, в результате проведенных исследований установлено, что разработанные тензиометры показали работоспособность в широком диапазоне влажности почв, различного механического состава. Характер зависимости всасывающего давления от влажности почвы для тензиометров ТП-1 идентичен. Несовпадение абсолютных значений связано с различным давлением барботирования, обусловленного возможными отличиями в размерах пор керамического зонда, что может быть устранено дальнейшей оптимизацией технологического процесса, отбраковкой и тарировкой

готовых приборов. Показания тензиометров показали также зависимость всасывающего давления от механического состава почвы [4, 8, 12, 67].

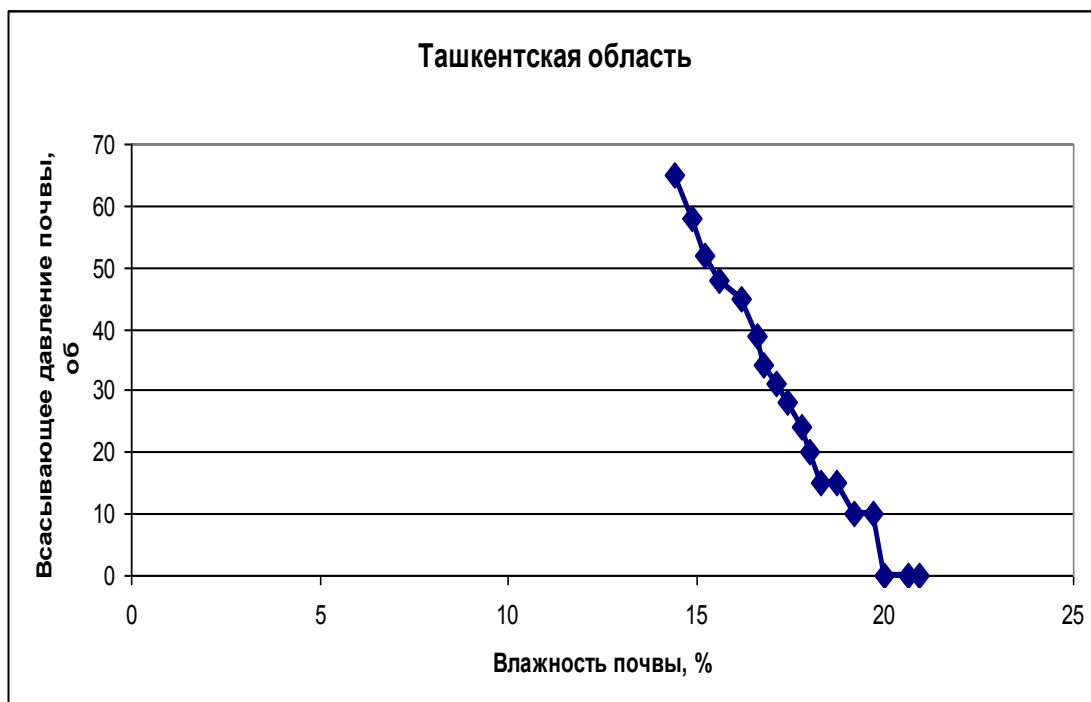


Рис. 3.15. Зависимость всасывающего давления от влажности почвы в период между вторым и третьим поливом

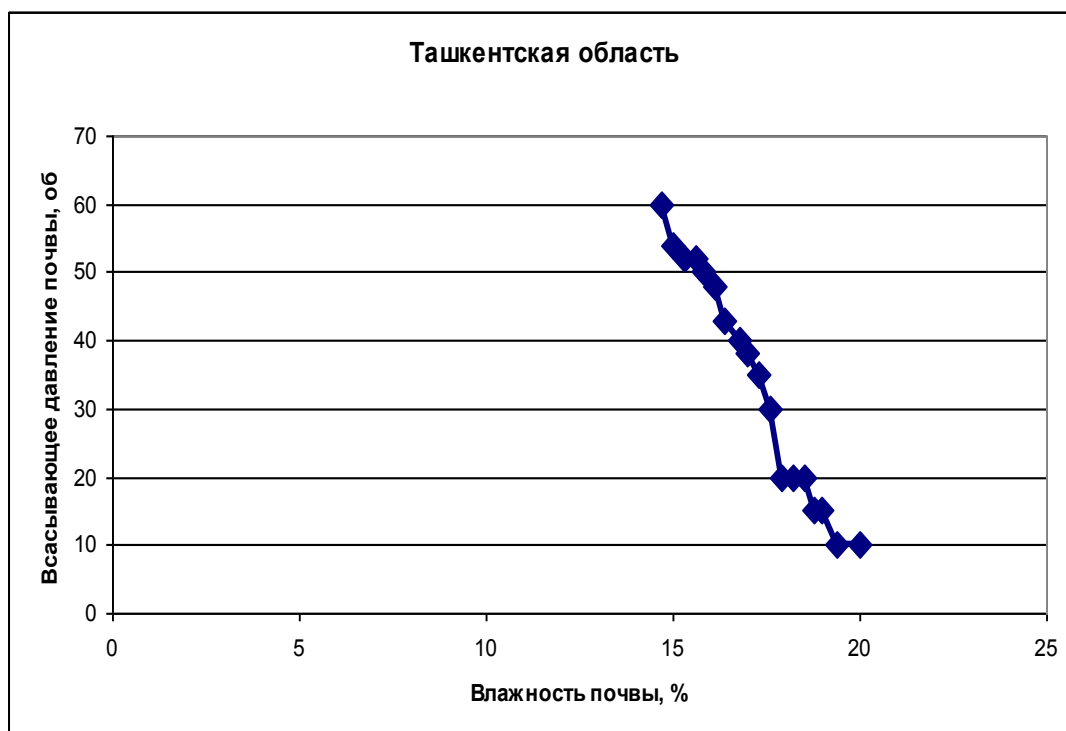


Рис. 3.16. Зависимость всасывающего давления от влажности почвы в период между третьим и четвертым поливом

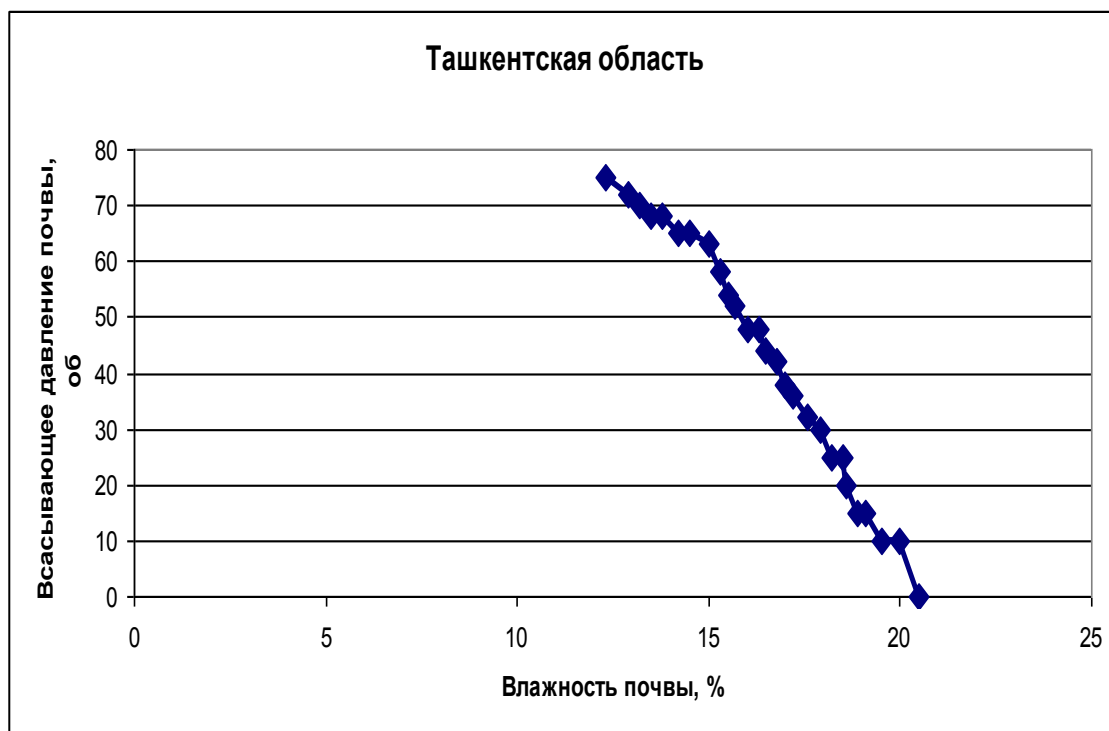


Рис. 3.17. Зависимость всасывающего давления от влажности почвы в период между четвертым и пятым поливом

4. Планирование орошения сельскохозяйственных культур на засоленных землях с учетом электропроводности фильтрата водной вытяжки

На засоленных землях наряду с химическими важное значение имеют физические параметры, описывающие энергетический режим и движение почвенной влаги. Одним из них является суммарный потенциал почвенной влаги. Он состоит из алгебраической суммы гравитационного, осмотического, потенциала тензиометрического давления и выражается следующим уравнением [19]:

$$\Psi_t = \Psi_g + \Psi_o + \Psi_p = g \int_{z_0}^z dz + V_{H_2O} \left[\int_0^P dp + \int_0^{\Pi} dp \right], \quad (4.1)$$

где z - вертикальное расстояние (глубина заложения тензиометра);

g - ускорение силы тяжести;

V_{H_2O} - удельный парциальный объём воды в почвенном растворе;

P - давление воды;

Π - осмотическое давление.

Все члены данного уравнения, кроме силы тяжести, выражаются величинами, которые можно измерить тензиометром, пьезометром или осмометром.

Потенциал тензиометрического давления или матричный потенциал характеризует всасывающее давление почвы, которое непосредственно измеряется тензиометром. Что касается осмотического потенциала, то в связи с отсутствием серийных (по типу тензиометров) осмометров, его рекомендуется определять расчётным путем.

Поскольку в отечественной литературе отсутствуют рекомендации по расчёту осмотического потенциала, мы используем методику из зарубежных источников.

Так, американские ученые Бреслер Э., Макнил Б.Л. и Картер Д.Л. [19] рекомендуют определять осмотический потенциал по зависимости

$$\Psi_o \approx - 0,36 EC, \quad (4.2)$$

где EC - электрическая проводимость раствора солей в воде (в нашей терминологии электропроводность), выражаемая в мСм/см (миллисименс на сантиметр);

Ψ_o - осмотический потенциал, выражаемый в барах. (Отметим, что 1 бар равен примерно 1 атмосфере или 10 метрам водного столба).

Английский учёный Роуэлл Д.Л. [65] рекомендует определять осмотический потенциал по зависимости

$$\Psi_o = - 0,04 EC, \quad (4.3)$$

где EC - электропроводность, выражаемая в дС/м (децисименс на метр), дС/м = мС/см;

Ψ_o - осмотический потенциал, выражаемый в МПа (мегапаскаль). Один МПа = 10бар = 10атм = 100 метрам водного столба.

Зададимся вопросом: электропроводность какой субстанции следует измерять, чтобы воспользоваться уравнениями (4.2) и (4.3).

В зарубежной литературе электропроводность измеряется в фильтратах из насыщенных водой почвенных паст. Для большинства почв насыщенная почвенная паста должна содержать в два раза больше воды, чем её содержится в почве при полевой влагоёмкости. Так, содержание воды в насыщенных пастах, выраженное в процентах от массы высушенной при

температуре 105 °С почвы для грубодисперсных почв должно составлять в среднем 31,8, для среднедисперсных почв 42,5, для тонкодисперсных 59,5%.

В отечественной практике засоление почвы определяется по составу водной вытяжки 1:5. Для использования зарубежной классификации почв по засолению необходимо привести электропроводность водной вытяжки 1:5 к электропроводности насыщенной вытяжки. Между ними имеется приближенная зависимость [65]

$$EC_{\text{вытяжки 1:5}} = 0,16 EC_{\text{насыщ. вытяжки}} \quad (4.4)$$

Электропроводность водных вытяжек измеряется электрокондуктомерами разных марок. В практике УзНИИХ широко используется портативный электрокондуктомер марки «Index».

Таким образом, в республике появилась возможность измерять электропроводность водной вытяжки 1:5, одновременно по стандартной методике определять в ней состав ионов, находить зависимости содержания ионов и плотного остатка от электропроводности и сравнивать степень засоления почвы по отечественной и зарубежной классификации.

При этом следует отметить, что информация о составе ионов водной вытяжки 1:5 используется для определения типа засоления, суммы токсичных солей, гипотетического состава солей, чего нет в зарубежных методиках.

Согласно классификации ФАО, почвы по электропроводности насыщенной водной вытяжки подразделяются на незасоленные при $EC=0-2$ дС/м, слабозасоленные при $EC=2-4$ дС/м, средnezасоленные при $EC=4-8$ дС/м, сильнозасоленные при $EC=8-16$ дС/м, очень сильно засолённые при $EC>16$ дС/м [65].

При использовании показаний электропроводности водной вытяжки 1:5 электропроводность для соответствующих почв принимает значения: 0,3; 0,3-0,6; 0,6-1,2; 1,2-2,6; >2,6 дС/м.

Представляет интерес, насколько отличается классификация почв по засолению ФАО от принятой отечественной классификации. Для примера взяты результаты водной вытяжки 1:5 и её электропроводность почвы Сырдарьинского филиала (бывш. ЦОМС).

Так, в таблице 4.1 приведены данные водной вытяжки 1:5 и электропроводность ее фильтрата из образцов сероземно-луговой лёгкосуглинистой засоленной почвы с посевом галофитов.

Таблица 4.1

Состав ионов и электропроводность водной вытяжки 1:5
(2011г.)

№ точек	Слой почвы, см	Cl	HCO ₃	SO ₄	Ca	Mg	Na+K	Сумма солей, %	Плотный остаток, %	Электропроводность, Ес, дС/м
		мг-экв	мг-экв	мг-экв	мг-экв	мг-экв	мг-экв			
Весна										
1	0-10	0,73	0,6	20,4	12,5	4,8	4,4	1,430	1,518	2,56
	10-30	0,73	0,7	17,3	11,2	4,7	2,8	1,221	1,304	1,63
	30-50	0,45	0,7	19,9	13,8	4,2	3,0	1,388	1,482	2,69
	50-70	0,51	0,5	19,5	12,8	6,0	1,6	1,336	1,446	2,39
	70-100	1,30	0,3	18,2	12,6	5,7	1,5	1,285	1,386	2,36
Среднее 0-100		0,80	0,53	18,8	12,6	5,2	2,4	1,32	1,42	2,32
2	0-10	0,62	0,6	17,0	13,2	3,7	1,3	1,194	1,274	-
	10-30	0,56	0,7	17,3	13,5	4,0	1,0	1,212	1,296	2,82
	30-50	0,62	0,5	18,4	12,1	5,7	1,7	1,270	1,370	2,68
	50-70	0,56	0,4	20,3	13,4	4,3	5,5	1,549	1,646	2,41
	70-100	0,67	0,4	20,0	11,6	6,0	3,4	1,378	1,484	2,37
Среднее 0-100		0,60	0,5	18,9	12,6	5,0	2,8	1,33	1,43	2,29
3	0-10	9,50	0,5	25,4	12,8	6,1	16,5	2,285	2,348	4,56
	10-30	1,69	0,6	21,2	13,3	6,0	4,8	1,539	1,628	3,19
	30-50	0,73	0,4	19,2	13,8	4,5	2,0	1,339	1,434	1,79
	50-70	0,62	0,4	19,0	12,9	5,1	2,0	1,310	1,410	1,53
	70-100	0,51	0,4	18,4	12,7	4,9	1,7	1,265	1,360	2,33
Среднее 0-100		1,71	0,45	19,9	13,1	5,2	3,9	1,71	1,54	2,52
Осень										
2.1	0-10	2,93	0,3	20,9	6,8	7,3	5,9	1,485	1,678	3,26
	10-30	1,30	0,3	16,3	8,0	6,4	1,4	1,108	1,250	2,88
	30-50	0,56	0,2	18,3	9,0	8,5	1,5	1,220	1,348	2,70
	50-70	0,39	0,2	19,0	11,4	5,1	3,0	1,292	1,392	2,63
	70-100	0,51	0,2	20,3	11,8	2,7	6,7	1,420	1,488	2,60
Среднее 0-100		0,80	0,2	18,9	9,9	5,5	3,78	1,29	1,42	2,32
2.2	0-10	1,80	0,3	18,6	8,9	8,8	3,0	1,321	1,444	3,04
	10-30	0,68	0,3	18,9	5,7	10,0	4,1	1,269	1,404	2,69
	30-50	0,68	0,2	19,2	6,4	8,6	5,0	1,300	1,422	2,73
	50-70	0,45	0,2	18,8	8,8	4,5	6,1	1,294	1,378	2,63
	70-100	0,45	0,2	17,9	9,2	4,3	5,0	1,231	1,314	2,62
Среднее 0-100		0,68	0,2	18,6	7,8	6,79	4,8	1,27	1,36	2,71

По данным таблицы 4.1 построен график зависимость плотного остатка от электропроводности фильтрата водной вытяжки 1:5 (рис. 4.1). В

результате статистической обработки данных получено регрессионное линейное уравнение

$$EC=0,36+0,495P, \quad R^2=0,785, \quad (4.5)$$

где EC - электропроводность фильтрата водной вытяжки, дС/м;

P - плотный остаток, %.

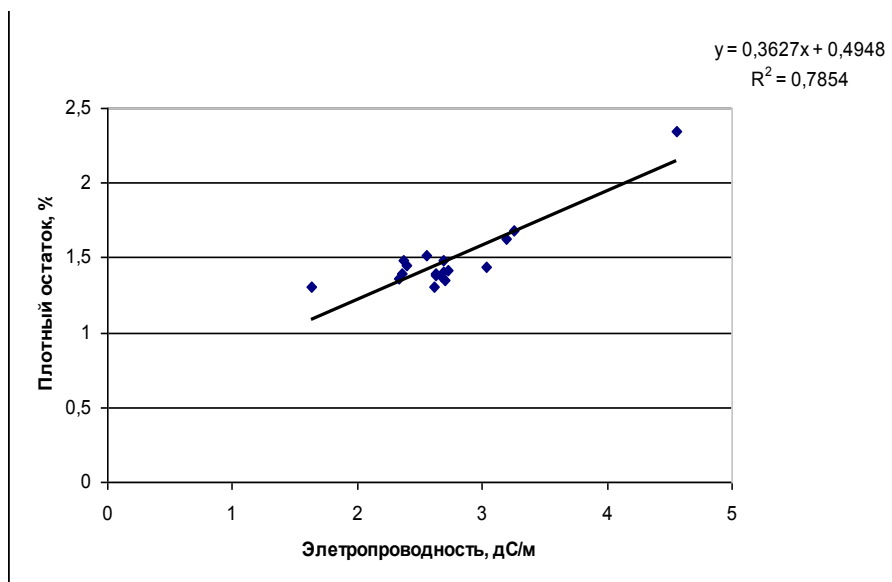


Рис. 4.1. Зависимость плотного остатка (y) от электропроводности фильтрата водной вытяжки 1:5 (x)

По соотношению $Cl:SO_4 < 2$ почва относится к сульфатному типу засоления. Для почв сульфатного типа засоления в соответствии с рекомендациями УзНИИХ степень засоления устанавливается по величине плотного остатка. По данным таблицы 4.1 плотный остаток почвы находится в пределах 1,36-1,59% для слоя почвы 1м, на основании чего почву опытного участка следует отнести к средnezасоленной. Что касается электропроводности фильтрата вытяжки 1:5, её значение изменяется от 2,29 до 2,71 дС/м. В пересчете на электропроводность насыщенной вытяжки по (4) получим 14,3 и 16,9 дС/м. По этим показателям, согласно методике ФАО, почва относится к разряду сильнозасоленной, т.е. на один разряд выше по сравнению с отечественной методикой. Из этого можно сделать вывод о том, что методика ФАО даёт завышенные значения степени засоления почвы.

В таблице 4.2 приведены значения электропроводности почвы того же опытного участка, измеренные непосредственно в поле электрокондуктомером марки EM-38.

Таблица 4.2

Электропроводность почвы, засеянной 16 видами галофитов,
измеренная электрокондуктомером EM-38, дС/м

Номер делянки	Первая повторность		Вторая повторность	
	слой почвы, см			
	0-75	0-150	0-75	0-150
1	4,7	5,8	5,3	7,0
2	4,6	6,2	5,9	7,3
3	4,7	6,2	5,8	7,7
4	5,7	7,5	5,6	7,3
5	6,2	7,1	5,9	7,7
6	5,2	7,1	6,2	8,0
7	6,0	7,2	6,5	7,6
8	5,6	6,4	6,4	7,3
9	6,2	7,1	6,3	7,7
10	6,8	8,1	6,1	8,1
11	6,1	7,5	5,9	7,7
12	6,0	7,9	5,9	7,9
13	6,2	8,5	7,0	8,3
14	7,0	8,6	6,7	7,9
15	7,0	8,3	6,7	8,3
16	5,8	7,9	6,7	8,5
Среднее	5,9	7,3	6,3	7,7
Среднее квадратическое отклонение	0,76	0,86	0,49	0,41
Коэффициент вариации	13,0	11,7	7,8	5,3

Как видно, среднее для слоя почвы 0-75см значение электропроводности 6,1 дС/м и среднее для слоя почвы 0-150см 7,8 дС/м попадают в интервал электропроводности по ФАО 4-8 дС/м, соответствующий средней степени засоления по различным оценкам.

В таблице 4.3 приведены различные методы оценки степени засоления почвы.

Оценка засоления почвы различными методами

Методика		Критерии засоления				
ФАО – по влиянию засоления на урожай растений	отечественная – по степени засоления почвы	электропроводность, дС/м			содержание иона Na	
		фильтрата насыщенной водной вытяжки (ФАО)	фильтрата водной вытяжки 1:5	почвы (ЕМ-38)	хлоридное, сульфатно-хлоридное засоление	хлоридно-сульфатное засоление
1. Влияние засоления незначительно	незасоленная	≤2	<0,3	≤2	<1	<1
2. Ограничивается урожай очень чувствительных к засолению культур	слабозасоленная	2-4	0,3-0,6	2-4	1-2	1-2
3. Ограничивается урожай многих культур	среднезасоленная	4-8	0,6-1,2	4-8	2-4	2-6
4. Удовлетворительный урожай только солеустойчивых культур	сильнозасоленная	8-16	1,2-2,5	8-16	4-8	6-12
5. Удовлетворительный урожай немногих очень солеустойчивых культур	солончак	>16	>2,5	>16	>8	>12

Как видно, граничные значения оценки электропроводности фильтрата насыщенной водной вытяжки и почвы (ЕМ-38) совпадают. Это избавляет исследователей от трудоемких работ, присущих методу оценки засоления почвы по электропроводности фильтрата насыщенной водной вытяжки, при использовании компактного переносного прибора ЕМ-38.

Следует также отметить удобное для оценки засоления соотношение показаний электрокондуктомера ЕМ-38 и содержания иона натрия в водной вытяжке для почв хлоридного и хлоридно-сульфатного засоления: 2:1.

В отечественной практике при планировании орошения хлопчатника, возделываемого на засоленных землях, уровень предполивной влажности расчётного слоя почвы принимается, как правило, равным 80% НВ, а поливные нормы назначаются по дефициту влаги с опреснительной

надбавкой в размере 10, 15, 20% соответственно для слабо-, средне - и сильно засоленных земель.

При использовании тензиометров (в настоящее время появляется возможность использования отечественных водяных тензиометров марки ТП-1) возможно более точно назначать сроки поливов хлопчатника и сопутствующих культур, выращиваемых на засоленных землях. Для этого из показаний тензиометра отнимать значение осмотического потенциала, определяемого по зависимостям (4.2) или (4.3).

Так, если электропроводность вытяжки 1:5 равна 2,32 дС/м (таблица 4.1), её надо перевести в электропроводность насыщенной вытяжки путём умножения 2,32 на 0,16 (это будет 0,37 дС/м), а полученное произведение, если использовать зависимость (4.2), умножить на 0,36 и получить 0,13 бар (13 сантибар). Если использовать зависимость (4.3), то значение осмотического потенциала составит 0,015 МПа или 1,5 м водного столба или 15 сантибар (в сантибарах проградуирована шкала американских тензиометров марки «Irrometr»). Таким образом, для назначения сроков полива хлопчатника и сопутствующих культур на засоленных землях с помощью тензиометров необходимо предварительно определить электропроводность вытяжки 1:5, пересчитать её применительно к насыщенной вытяжке, рассчитать величину осмотического потенциала и из показания тензиометра, соответствующего нижнему пределу влажности, вычесть величину осмотического потенциала.

Так, если нижней порог предполивной влажности для незасоленной почвы принять в размере 60 сантибар, то полив засоленной почвы следует начинать при показании тензиометра 46 сантибар, а размер поливной нормы назначать по дефициту влаги расчетного слоя для незасоленной почвы [18].

5. Мелиорирующий эффект при мульчировании полиэтиленовой пленкой орошаемых почв сероземной зоны

Как ранее было отмечено, в последние годы в Узбекистане существенно изменилась структура посевов на орошаемых землях – в хлопковом комплексе доля хлопчатника сократилась, а доля озимых зерноколосовых увеличилась. В соответствии с новой концепцией развития системы земледелия в хлопковом комплексе предусматривается по 40 % земель отвести под посевы хлопчатника и озимых зерноколосовых, 12 % под люцерну, 8 % под другие сопутствующие культуры. Для повышения плодородия почвы предусматривается широкое возделывание бобовых культур в повторных посевах на землях, освобождающихся после уборки озимых зерноколосовых – сои, маша, озимого гороха и др. [6].

После уборки урожая озимых зерноколосовых на ежегодно возделываемой площади 1,2 млн. га получают свыше 4 млн. т соломы, которая может быть использована для различных целей: в качестве корма для скота; сырья для бумажной промышленности; для мульчирования почвы. Последнее направление использования соломы обусловлено еще и тем, что согласно принятой схеме чередования культур посевы зерноколосовых ежегодно чередуются с пропашными культурами, благодаря чему заготовленная солома может быть использована для мульчирования почвы с минимальными транспортными и погрузочными расходами.

Как доказано наукой и практикой последних лет, оптимальные сроки сева озимых зерноколосовых приходятся на конец сентября – середину октября, и поэтому перед хлопководством стоит задача – к этому времени убрать урожай хлопка-сырца. Достижению этой цели способствует внедряемая в широких масштабах технология возделывания хлопчатника под прозрачной полиэтиленовой пленкой. Так, в 1998 г. посевы хлопчатника под пленкой занимали в Узбекистане площадь около 350 тыс.га (23,3 %).

Согласно концепции развития хлопководства в ближайшей перспективе мульчирование почвы намечено применять на площади 1 млн.га. Как показал опыт последних лет, при возделывании хлопчатника под пленкой сроки его созревания сокращаются на 15-20 дней.

Для установления мелиорирующего эффекта мульчирования почвы пленкой проведены исследования различных почвенных режимов.

В исследованиях по тепловому режиму изучалась динамика температуры почвы на глубине 5, 10 и 15 см на Центральной экспериментальной базе Узбекского НИИ хлопководства, расположенной на тяжелосуглинистых типичных сероземах. В полевом опыте с помощью почвенных термометров измерялась температура почвы на площадках с хлопчатником: в открытой, мульчированной прозрачной полиэтиленовой пленкой и соломой, почве. Измерения температуры почвы проводились в 8, 14, 20 и 2 ч по местному времени, температура воздуха и другие климатические данные измерялись на гидрометеорологическом посту «Аккавак», расположенном на расстоянии 400 м от опытного участка. Среднемесячные значения температуры почвы приведены в табл. 5.1.

Как видно, при мульчировании почвы полиэтиленовой пленкой сумма накопленных температур в слое 0-15 см за вегетационный период (17 апреля – 20 сентября) на 569°С больше, а при мульчировании соломой на 87°С меньше контрольной.

Данному тепловому режиму способствовал режим влажности корнеобитаемого слоя почвы, сформировавшийся семью поливами и затратами оросительной воды нетто на контрольном варианте 4870 м³/га, на варианте с мульчированием пленкой 4170 м³/га, с мульчированием соломой 4960 м³/га.

Отношение суммы температур почвы за вегетационный период к сумме эффективных температур воздуха за этот же период (2089°С) составляет на контрольном варианте 1.84, на варианте с мульчированием почвы пленкой 2.11, с мульчированием почвы соломой 1.80. Отношение данного показателя

к сумме положительных температур воздуха по вариантам опыта составляет 1.05; 1.21; 1.03.

Таблица 5.1

Среднемесячная температура (°С) почвы хлопкового поля
на глубине 5/10/15 см

Показатель	Открытая почва (контроль)	Почва, мульчированная	
		прозрачной пленкой	соломой
Апрель	18.6/18.3/17.9	21.2/20.4/19.1	18.3/17.9/17.7
Май	21.2/20.2/19.6	25.2/23.5/21.8	20.1/17.9/19.5
Июнь	27.7/26.9/26.4	33.1/31.7/30.2	26.6/26.1/25.4
Июль	29.4/29.0/27.7	33.7/33.0/32.2	29.1/28.6/28.2
Август	27.3/26.6/26.0	32.1/31.6/30.7	26.1/25.8/25.4
Сентябрь	22.4/21.5/20.2	23.6/22.7/21.3	22.0/21.1/19.8
Сумма температур	3954/3842/3719	4583/4413/4225	3829/3753/3672
Средняя в слое 0-15 см	3838	4407	3751
Разница с контролем, °С, %		+620/+571/+506	-125/-89/-47
		+15.9/+14.9/+13.6	-3.2/-2.3/-1.3

В переводе питательных элементов минеральных удобрений в усвояемые для растений формы большую роль играет почвенная микрофлора. Известно, что активная жизнедеятельность большинства микроорганизмов протекает при температуре почвы 27-28°С и влажности почвы 60-65% от полной влагоемкости (ПВ). Установлены оптимальные значения температуры почвы в слое 0-20 см для жизнедеятельности микроорганизмов в сероземных почвах – это 27°С с начала мая до конца июня, 30°С в июле и августе, 24°С в сентябре [75].

Изучение влияния влажности и температуры типичного серозема в лабораторных условиях дало возможность установить, что при температуре 27-28°C энергия нитрификационного процесса значительно возрастает с девятого дня инкубации почвы при влажности 60% от ПВ. При температуре почвы 37-38°C нитрификационный процесс проходит менее интенсивно (рис. 5.1).

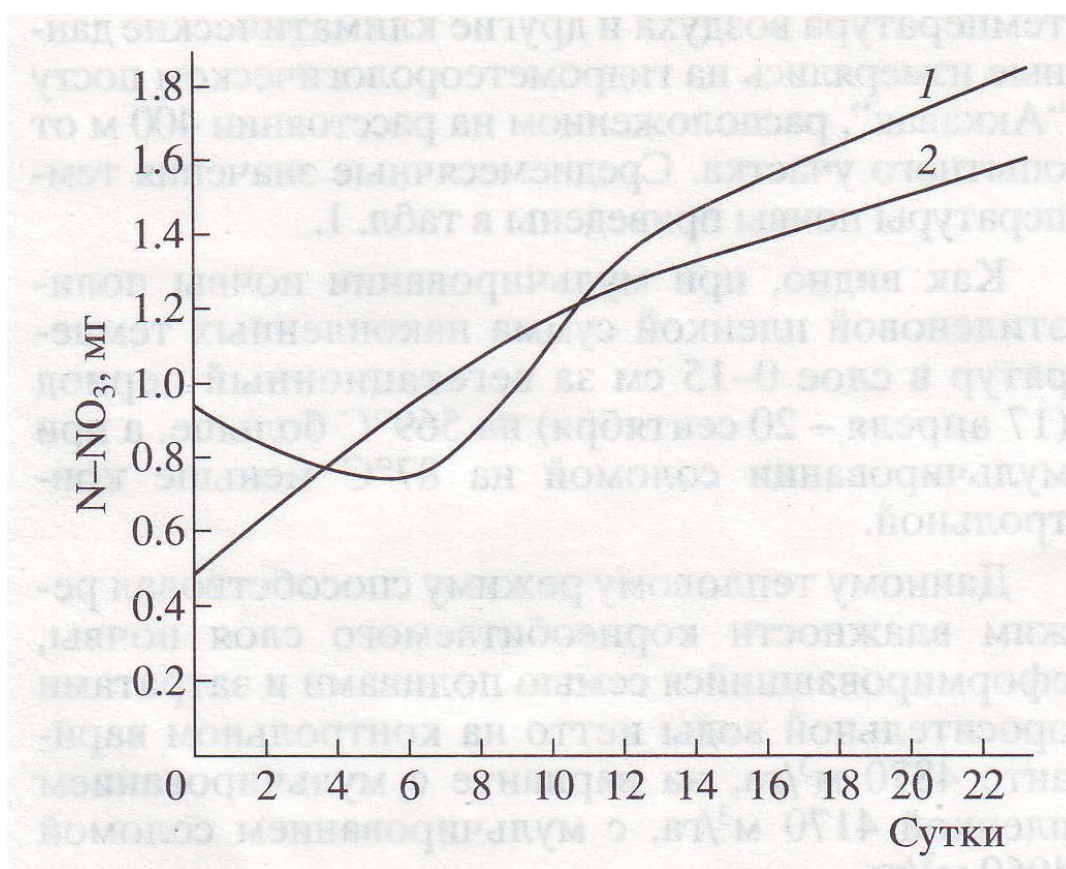


Рис. 5.1. Динамика нитрификационной способности почвы при влажности 60 % от ПВ и температуре: 1 – 37,5°C, 2 – 27,5°C

Изучалось влияние мульчирования почвы пленкой на структуру почвы. Образцы почвы, взятые послойно через 10 см на глубину 40 см, просеивались через сита и распределялись по фракциям.

По данным сухого просеивания почвы установлен коэффициент структурности: в среднем по глубине пахотного слоя он составил на контроле 2.7, на мульчированной пленкой почве 5.1. Высокие значения связаны с наличием в почве большого количества агрономически ценных фракции.

В покрытой пленкой почве содержится большое количество углекислого газа, чем в открытой почве. Исследования показали, что в закрытых вегетационных сосудах с хлопчатником содержание углекислоты в течение вегетационного периода составило 0.15-5.6, в открытых – 0.25-0.90%, содержание же кислорода было примерно одинаковым – 19-20%. В лизиметрах с закрытой почвой содержание углекислоты было выше, чем на контроле, в 1.5-2 раза, кислорода – равное количество [57].

Введение в хлопковый комплекс Узбекистана озимых зерноколосовых и выращивание повторных культур после уборки урожая озимых ориентирует сельскохозяйственное производство на интенсивное использование орошаемых земель. Следствием этого является чрезмерное воздействие почвообрабатывающей техники и орудий на почву, особенно пагубное, когда из-за дефицита оросительной воды и непроведения предпахотных поливов после уборки урожая хлопка-сырца иссушенная почва распахивается под озимые зерноколосовые, а после уборки озимых производится летняя распашка почвы для посева повторных пропашных культур. При такой интенсивной обработке почвы, резком сокращении посевов люцерны на староорошаемых землях происходит необратимый процесс уменьшения численности дождевых червей.

В хлопково-люцерновых севооборотах, когда при трехлетнем стоянии люцерны почва не подвергается обработке, численность дождевых червей восстанавливается до 2.3 млн. экз./га и их деятельность в период всей

ротации, хотя и различная по интенсивности, способствует поддержанию благоприятных агрофизических и агрохимических свойств почвы. Представленная на рис. 5.2 динамика численности дождевых червей показывает, как возделывание пропашной культуры уменьшает количество червей в почве.

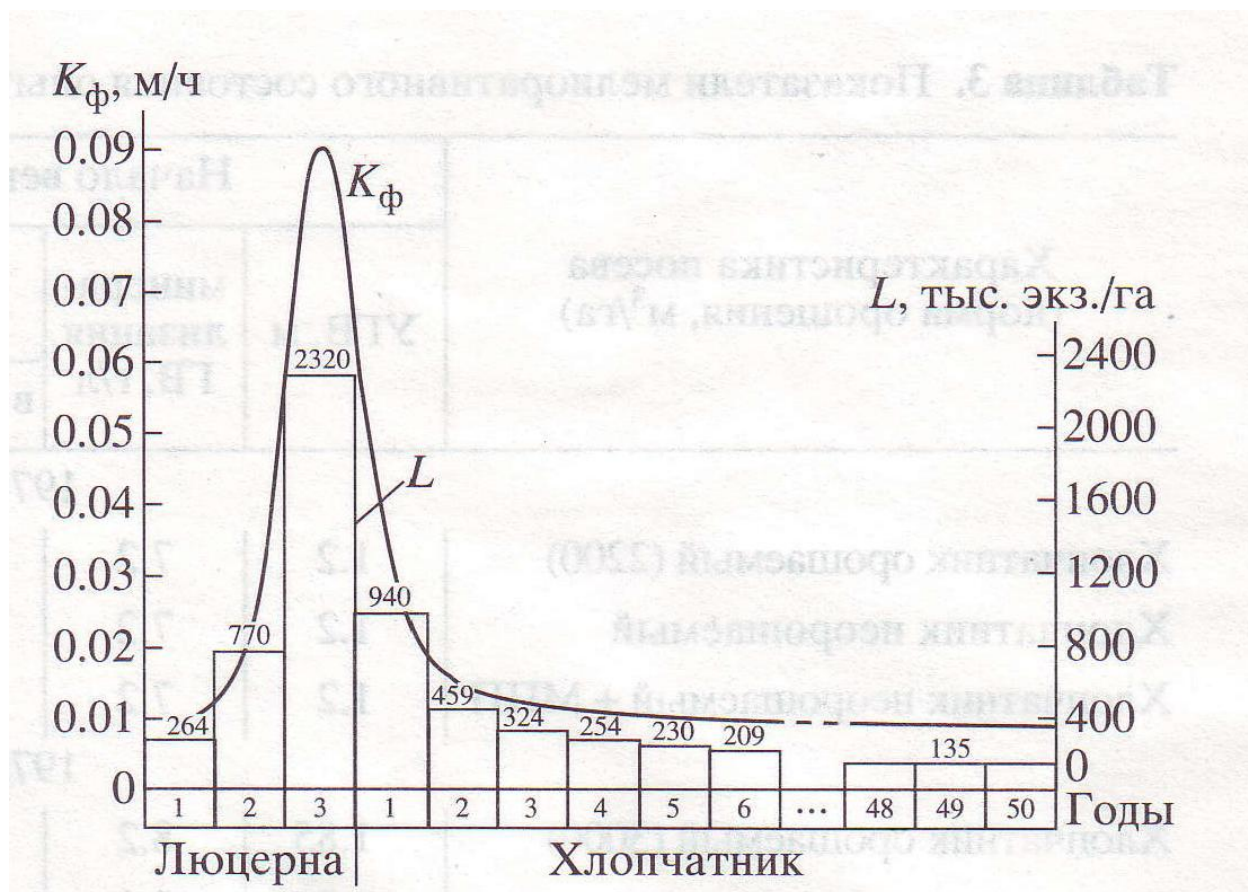


Рис. 5.2. Динамика плотности лямбликофауны (L) и скорости впитывания воды в почву (K_{ϕ}) на средне- и тяжелосуглинистых староорошаемых типичных сероземах

В нашем же опыте при проведении раскопок по методике Гилярова [28] установлена следующая плотность люмбрикофауны: на контроле 16.7 экз./м², на участках с пленочной и соломенной мульчей по 33.3 экз./м². Полученные результаты свидетельствуют о положительной роли мульчи в деле охраны почвенных животных.

Влияние мульчирования почвы на мелиоративное состояние земель с посевами хлопчатника изучалось на Центральной опытно-мелиоративной станции (ЦОМС) УзНИИХ, расположенной в старой зоне орошения Голодной степи. Опыты проводились в лизиметрах размером 1 x 1 м и на площадках 750 м². Результаты лизиметрических опытов приведены в табл. 5.2. Как видно, при минерализации грунтовых вод 3.77-5.85 г/л и исходном засолении почвы от слабой до средней степени к концу вегетации во всех лизиметрах происходило соленакопление, более интенсивное при глубине залегания грунтовых вод 2 м. Мульча из полиэтиленовой пленки во все годы исследований не предохраняла корнеобитаемый слой почвы от реставрации засоления. В 1971 г. при залегании уровня грунтовых вод (УГВ) на глубине 2 м содержание Cl при орошении хлопчатника увеличилось в 3 раза, без орошения в 3.2 раза, в 1973 г. соответственно в 1.6 и 2.4 раза. В то же время отмечено уменьшение содержания Cl при глубине УГВ 3 м в 1971 г.

Близкое залегание УГВ в старой зоне орошения Голодной степи при хороших капиллярных свойствах почвы – высоте и скорости капиллярного поднятия – побудило провести исследования по изучению влияния мульчи из полиэтиленовой пленки при возделывании хлопчатника без орошения. В течении продолжительного времени, начиная с 50-х годов и до настоящего времени, в Голодной степи установлена возможность получения урожая хлопка-сырца на уровне 30 ц/га без проведения поливов. В связи с этим в исследованиях, проведенных на площадках, изучались варианты возделывания хлопчатника без полива с обнаженной и мульчированной

пленкой почвой. Показатели мелиоративного состояния почвогрунтов изучаемых вариантов представлены в табл. 5.3.

Таблица 5.2

Показатели мелиоративного состояния почвы в лизиметрах

Характеристика посева	Минерализация грунтовых вод, г/л	С1 в слое 0-100 см, %/плотный остаток, %	
		начало вегетации	конец вегетации
1971г. УГВ 2 м			
Хлопчатник орошаемый	4.53	0.045/0.88	0.085/1.09
Хлопчатник неорошаемый + МПП	3.77	0.023/0.60	0.073/1.09
Хлопчатник орошаемый + МПП	5.50	0.026/0.49	0.078/1.04
1971г. УГВ 3 м			
Хлопчатник орошаемый	5.55	0.035/0.59	0.070/1.08
Хлопчатник орошаемый + МПП	5.85	0.076/0.74	0.075/1.18
1973г. УГВ 2 м			
Хлопчатник орошаемый	5.59	0.018/0.86	0.066/0.96
Хлопчатник неорошаемый + МПП	5.37	0.030/1.17	0.072/1.27
Хлопчатник орошаемый + МПП	5.10	0.036/1.03	0.059/1.12
1973г. УГВ 3 м			
Хлопчатник орошаемый	4.02	0.043/0.70	0.063/0.87
Хлопчатник неорошаемый + МПП	5.35	0.075/1.15	0.103/1.32
Хлопчатник орошаемый + МПП	5.72	0.044/0.75	0.057/0.86

Примечание. Здесь и в табл. 5.3, 5.4 «+МПП» означает – с мульчированием почвы полиэтиленовой пленкой.

Таблица 5.3

Показатели мелиоративного состояния опытных участков на ЦОМС

Характеристика посева (норма орошения, м ³ /га)	Начало вегетации				Конец вегетации			
	УГВ, м	минерализация ГВ, г/л	Сl	плотный остаток	УГВ, м	минерализация ГВ, г/л	Сl	плотный остаток
			в слое 0-100 см, %				в слое 0-100 см, %	
1971 г.								
Хлопчатник орошаемый (2200)	1.2	7.2	0.028	1.01	2.6	5.9	0.047	1.38
Хлопчатник неорошаемый	1.2	7.2	0.028	1.01	2.6	6.3	0.056	1.42
Хлопчатник неорошаемый + МПП	1.2	7.2	0.028	1.01	2.6	6.3	0.044	1.36
1972 г.								
Хлопчатник орошаемый (3000)	1.85	8.2	0.013	0.85	2.95	7.6	0.025	1.08
Хлопчатник неорошаемый	1.85	8.2	0.018	0.85	2.95	9.7	0.03	1.18
Хлопчатник неорошаемый + МПП	1.85	8.2	0.014	0.94	3	9.9	0.032	1.32
1974 г.								
Хлопчатник орошаемый (3500)	2.9	8.2	0.022	0.77	3.83	10.7	0.032	0.9
Хлопчатник неорошаемый	2.9	9	0.022	1.04	3.85	12.9	0.042	1.13
Хлопчатник неорошаемый + МПП	2.9	10.7	0.029	1.03	3.85	11.7	0.04	1.24
В среднем за три года								
Хлопчатник орошаемый			0.021	0.88			0.035	1.12
Хлопчатник неорошаемый			0.023	0.97			0.043	1.24
Хлопчатник неорошаемый + МПП			0.024	0.99			0.039	1.31

На фоне сработки УГВ к концу вегетации на 0.9-1.4 м независимо от исходной глубины залегания высокоминерализованных грунтовых вод содержание токсичных солей во всех вариантах опыта возрастает. Так, в среднем за три года максимальное увеличение концентрации Cl⁻ наблюдается на площадке с неорошаемым хлопчатником – прирост достиг 90 %. Минимальный прирост содержания Cl⁻ – 60% - отмечен на площадке с неорошаемым хлопчатником и мульчированной почвой. Таким образом, площадочные опыты подтверждают установленную в лизиметрических опытах закономерность, согласно которой при мульчировании почвы с неорошаемым хлопчатником к концу вегетации в корнеобитаемом слое накапливается меньшее количество токсичных солей.

Тот факт, что мульча из полиэтиленовой пленки на засоленных землях Голодной степи снижает темпы накопления токсичных солей в корнеобитаемом слое почвы, не может не сказаться на урожайности хлопчатника. Мульча из пленки, способствуя увеличению температуры почвы, обеспечивает повышенную концентрацию углекислого газа. Все эти факторы создают благоприятные условия для роста, развития и созревания хлопчатника. Результаты учета урожая, приведенные в табл. 5.4, свидетельствуют об эффективности мульчирования почвы в различных природных условиях.

Определенный научный интерес представляет формирование процесса засоления на неорошаемых подверженных засолению землях с обнаженной и мульчированной пленкой почвой. Такие земли встречаются на орошаемых массивах в виде перелогов. Изучение такого процесса проведено в Бухарском филиале УзНИИХ в 1969 г. и на ЦОМС в 1971-1974 гг. В Бухарском филиале на слоистых почвах (0-30 см – средний суглинок, 30-200 см – тяжелый суглинок) с глубиной залегания УГВ весной 2.07 м и осенью 2.86 м содержание Cl⁻ в слое почвы 0-100 см на неорошаемом с мульчированной почвой участке увеличилось на 22% (с 0.018 до 0.022%); на участке с

орошенным нормой 7200 м³/га хлопчатником концентрация С1 повысилась на 20% (с 0.015 до 0.018%).

Таблица 5.4

Водопотребление и урожайность хлопчатника

Характеристика посева	Типичный тяжелосуглинистый серозем (ЦЭБ УзНИИХ)		Сероземно-луговая легкосуглинистая почва пояса светлых сероземов (ЦОМС)	
	водопотребление, м ³ /га	урожайность, ц/га	водопотребление, м ³ /га	урожайность, ц/га
Хлопчатник орошаемый (контроль)	7530	30.2	6000	30.8
Хлопчатник орошаемый + МПП	5850	63.3	4500	не опр.
Хлопчатник неорошаемый	не опр.	не опр.	4000	22.4
Хлопчатник неорошаемый + МПП	не опр.	не опр.	3250	33.4

На ЦОМС в 1971 г. от весны к осени при снижении глубины УГВ от 1.2 до 2.6 м и минерализации от 7.3 до 6.3 г/л содержание С1 осталось неизменным – 0.028%. В 1972 г. оно снизилось с 0.016 до 0.013%, в 1974 г. увеличилось с 0.015 до 0.017%. Полученные результаты свидетельствуют о том, что при мульчировании неорошаемой почвы, приводящем к устранению физического испарения влаги, на гидроморфных почвах сколько-нибудь значительного увеличения содержания токсичных солей в слое 0-100 см не происходит.

Важное значение для растений имеет плотность почвы. При возделывании хлопчатника с шириной междурядий 60 см трехколесный пропашной трактор формирует три типа борозд: межколесные; борозды с однократным проходом переднего колеса трактора; борозды с двухкратным проходом задних колес (стыковые борозды). Колеса пропашного трактора оказывают давление на почву, особенно сильное в стыковых междурядьях,

Уплотняется почва в результате поливов и в межколесных междурядьях. Так, на тяжелосуглинистом типичном сероземе объемная масса пахотного слоя обнаженной почвы в начале вегетации составляет 1.43-1.45 г/см³, в конце вегетации, после пяти поливов и 8-10 междурядных обработок, объемная масса пахотного слоя почвы (0-30 см) в межколесной борозде увеличивается до 1.50 г/см³, в борозде переднего колеса трактора 1.55 г/см³, в стыковой борозде (двойного прохода задних колес трактора) 1.57 г/см³.

Можно отметить, что существующая технология возделывания хлопчатника в сероземной зоне, основанная на бороздковом поливе узких 60-сантиметровых междурядий и четырехрядной системе машин, не отвечает экологическим требованиям, поскольку происходит уплотнение почвы, в результате чего ухудшаются ее агрофизические свойства.

В то же время при мульчировании почвы полиэтиленовой пленкой количество проходов трактора за сезон сводится до минимума – не более 1-2, в результате почва мало уплотняется.

Проведенные исследования по изучению эффективности мульчирования почвы позволяют сформировать почвенные параметры, отвечающие экологическим требованиям и способствующие созданию агротехнических требований на новые экологически безопасные технологии возделывания пропашных культур.

Представленные в табл. 5.5 оптимальные параметры почвы могут быть соблюдены в сельскохозяйственном производстве аридной зоны путем проведения различных агротехнических приемов: мульчированием почвы полиэтиленовой пленкой, поделкой гребней, проведение поливов через одно междурядье. Соблюдение благоприятных режимов почвы способствует поддержанию плодородия почвы, получению высокого, ранозревающего урожая хлопка-сырца с качеством волокна, отвечающим требованиям рынка.

Таблица 5.5

Оптимальные параметры пахотного слоя почв сероземной зоны

Свойства почвы	Типичный серозем сс/тс	Светлый серозем лс/сс/тс
Агрофизические		
Количество агрегатов, %:		
> 10 мм	13-17/20-25	10-12/13-17/20-25
10-0.25 мм	70-80/70-75	75-80/70-80/70-75
< 0.25 мм	8-12/3-7	10-13/8-12/3-7
Пористость, %	43-48/44-49	42-47/44-50/43-49
Плотность, г/см ³	1.39/1.37	1.45/1.38/1.41
Водопроницаемость, м/ч	0.01-0.005/<0.005	0.01-0.02/0.01-0.05/<0.005
Физико-химические		
Содержание токсичных солей, %		
Плотный остаток	<0.2/<0/2	<0.5/<0.4/<0.3
Cl	<0.01/<0.01	<0.035/<0.035/<0.035
Агрохимические		
Снижение запасов гумуса от исходного состояния, %	<10/<10	<10/<5-10/<5-10
Нитрификационная способность, мг/кг	15-20/20-25	15-20/20-25/25-30
Содержание питательных элементов, мг/кг:		
азот (нитратный)	40-60/40-60	40-60/40-60/40-60
фосфор	45-60/45-60	45-60/45-60/45-60
калий	300-400/300-400	300-400/300-400/300-400
Гидрохимические		
Глубина залегания УГВ (м) при минерализации	не опр.	>3.0/>3.0/>3.0
<3 г/л		

>3 г/л	не опр.	>5.0/>5.0/>5.0
Теплофизические		
Средняя за IV-X температура в слое 0-15 см, °С	4400/4400	4600/4600/4600
Температуропроводность, см ²	10-12/10-12	12-14/12-14/12-14
Биологические		
Плотность люмбрикофауны, экз/м ²	>20/>30	>25/>20/>20
Количество микроорганизмов, млн/г почвы	10-15/15-20	5-7/7-10/10-12
Противоэрозионная устойчивость		
Уменьшение гумусового слоя от исходного состояния, %	3-5/4-6	не опр.
Смыв почвы за вегетационный период, т/га	2-3/3-5	не опр.

Примечание: лс – легкие суглинки; СС – средние суглинки; тс – тяжелые суглинки и глины.

6. Технология полива хлопчатника по бороздам, мульчированным соломой озимой пшеницы

Солома озимой пшеницы в качестве органического удобрения достаточно хорошо и глубоко изучена в условиях гумидного и полуаридного климата, где её рекомендуется запахивать в норме 5-10 т/га. В Узбекистане же она в таком качестве практически не применяется и используется на корм скоту, как строительный материал и в производстве бумаги. В малонаселенных регионах оставшаяся на полях после уборки зерна соломы, как правило, сжигается.

В Узбекистане ежегодно производится около 6 млн. т соломы озимых зерноколосовых. Установленная исследованиями ее ценность как ежегодно возобновляемого источника макро- и микроэлементов, являющегося в последнее время единственно возможным средством поддержания почвенного плодородия, заслуживает того, чтобы ею пользовались соответственно её предназначению, а именно, в качестве мульчи.

Мульча способствует регулированию водного, воздушного и теплового режимов почвы, служит депрессором испарения влаги, сохраняет гумус, улучшает агрофизические свойства, усиливает биологическую активность почвы, предохраняет её от ветровой и водной эрозии, препятствует росту сорной растительности. Сочетание мульчирования полей соломой с приёмами минимальной обработки почвы является реальным направлением сокращения потребности оросительной воды, энергозатрат и повышения плодородия почвы.

Ценность соломы как органического удобрения заключается в том, что она содержит ценные макро- микроэлементы. Так, в 1 т соломы озимой пшеницы содержится примерно 6 кг азота, 3 кг фосфора, 20 кг калия, 0,8 магния, 0,1 кг меди, 0,06 кг марганца, 0,1 кг цинка.

В настоящее время, когда в каждом фермерском хозяйстве Узбекистана возделываются хлопчатник и солома, имеется возможность вносить в посевы хлопчатника до 1-2 т/га соломы. Под действием поливов, вносимых минеральных удобрений, высоких температур воздуха и активной радиации солома к концу вегетационного периода хлопчатника превращается в материал, близкий к перегною, а после уборки урожая хлопка сырца вместе с гуза-паёй она без труда запахивается.

Способ мульчирования почвы в междурядьях хлопчатника осуществляется следующим образом. После уборки урожая зерна озимой пшеницы солому перевозят на тракторной тележке на расположенное рядом хлопковое поле. Солома укладывается в предварительно нарезанные борозды вручную из расчета 150-200 г на погонный метр через междурядье: при 60 см междурядьях в межколесные борозды, при 90 см по следу задних колес пропашного трактора. После укладки соломы междурядные обработки и кетменное-мотыжение не проводятся. Внесение минеральных удобрений должно быть закончено до укладки соломы. Поливы проводятся малыми нормами, рассчитываемыми на увлажнение корнеобитаемого слоя почвы 50-60 см.

Технология полива хлопчатника по мульчированным соломой бороздам обеспечивает равномерное увлажнение почвы по длине борозд до 100 м. При этом устраняется размыв борозд, смыв почвы и внесенных удобрений, на землях с большим уклоном предотвращается ирригационная эрозия.

Использование соломы для мульчирования борозд соответствует современным экологическим требованиям системы земледелия – это минимализация обработки почвы и сокращение эмиссии в атмосферу парниковых газов, вырабатываемых почвой, которая подобна биологическому реактору.

Способ полива и расчетный слой увлажнения оказывают существенное влияние на водно-физические свойства почвы – благоприятные для развития

корневой системы хлопчатника, а большее количество поливов при таком увлажнении незначительно уплотняет почву, способствует сохранению ее структуры и водопроницаемости.

Исследованиями установлено, что КПД техники полива при мульчировании рабочих борозд составляет 0.90-0.96, при обычном 0.77-0.81.

Установлено влияние разных способов полива на урожай хлопка-сырца: средний за три года урожай хлопка-сырца в варианте полевого опыта по мульчированным соломой бороздам составил 38.0-40.4 ц/га, прибавка урожая составляет примерно 2.9-6.5 ц/га. По выходу и промышленному сорту волокна хлопка-сырца в мульчированных вариантах не уступает контролю, масса 1000 семян оказывается выше на 8-10 г.

Исследованиями установлено снижение водопотребления хлопчатника при поливе мульчированным бороздам 3860-3450 м³/га, на контроле 4140-3770 м³/га.

Затраты на мульчирование почвы в междурядьях хлопчатника окупаются прибавкой урожая, экономией топлива и оросительной воды.

7. Орошение хлопчатника по бороздам с кротовинами

Устройство кротовин рекомендуется предусматривать на хлопковых полях с междурядьями хлопчатника 60 см и на почвах со средними и тяжелыми суглинками. Кротовины формируются специальным рабочим органом в межколесных бороздах.

После каждого полива, когда почва подсыхает, пропашной трактор должен проводить культивацию. Для этого на передней раме тракторного культиватора вместо стрельчатой лапы по оси борозд крепят два кротователя.

Кротователь представляет собой рабочий орган, состоящий из щелереза и прикрепленной к нему гильзы в форме заостренного с одной стороны стального цилиндра (рис. 7.1).

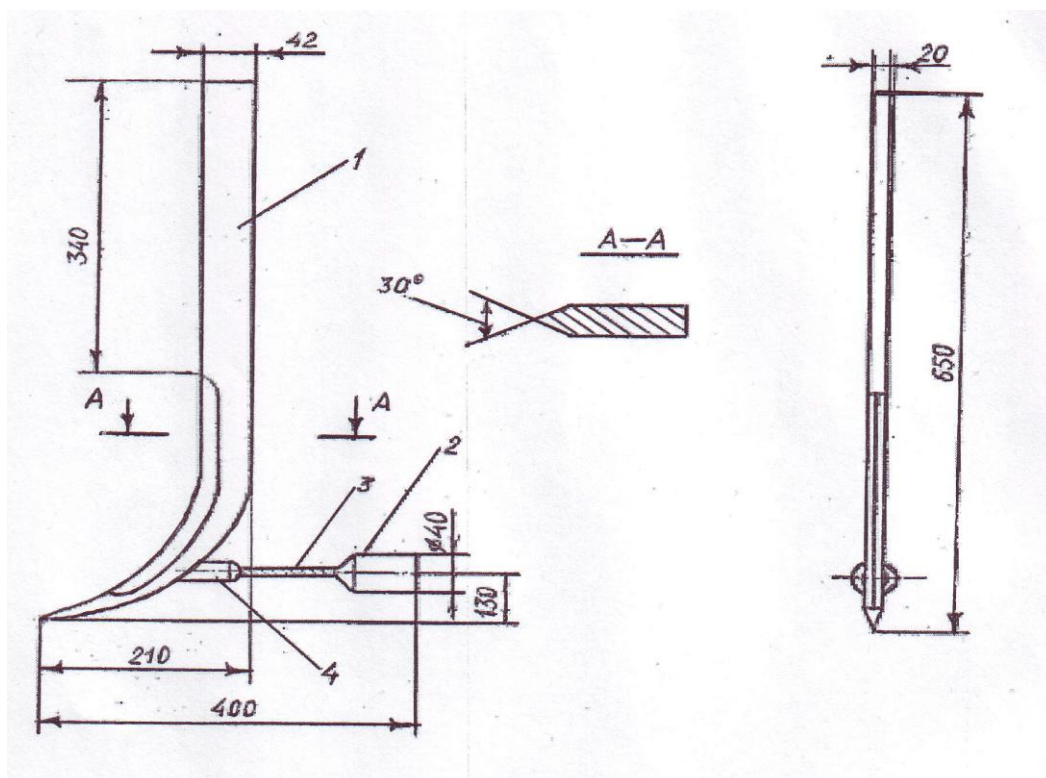


Рис. 7.1. Рабочий орган для устройства кротовин: 1 – нож-щелерез, 2 – кротователь, 3 – тяговый трос, 4 - хвостовик

Обработка почвы кротователями проводится после каждого полива. После прохода трактора в почве на определенной глубине формируется воздушная полость в виде кротовины, которая сохраняется до следующего полива. Глубина закладки в почву кротовин должна быть больше глубины нарезаемых перед следующим поливом борозд.

В исследованиях на тяжелосуглинистом типичном сероземе, проведены исследования по изучению эффективности полива хлопчатника по бороздам с кротовинами, устраиваемых на глубине 12-15, 22-25, 32-35 см.

Как показали исследования, междурядная обработка почвы с одновременной поделкой кротовин способствует увеличению водопроницаемости почвы и, соответственно, снижению потерь воды на поверхностный сброс на землях с большими уклонами местности. Многолетние исследования позволили установить, что при поливе хлопчатника через междурядье по бороздам длиной 100 м с кротовинами достигается экономия оросительной воды в размере 17-22 %, смыв почвы снижается на 7-8 т/га и не превышает допустимой нормы смыва. Соответственно, вынос питательных элементов со сбросной водой также снижается: гумуса в 2 раза; азота, фосфора и калия в 1,5-2,5 раза. Минимальные потери элементов плодородия почвы отмечаются в вариантах с закладкой кротовины на глубину 22-25, 32-35 см.

Решающим фактором при выборе глубины закладки кротовин в почве является урожай хлопка-сырца. Максимальная достоверная прибавка урожая хлопка-сырца в размере 2,5 ц/га (8,1%) получена на варианте с глубиной закладки кротовин 32-35 см.

Для хлопчатника, возделываемого с междурядьями шириной 60 см, поливы через междурядье по межколесным бороздам с кротовинами, закладываемыми на глубину 20-25 и 32-35 см, обеспечивают получение высокого урожая хлопка-сырца, экономию оросительной воды и минеральных удобрений, способствуют сокращению размера ирригационной эрозии.

8. Поливы хлопчатника по чередующимся бороздам

При выращивании хлопчатника с междурядьями 60 см на незасоленных и слабозасоленных почвах в связи с дефицитом оросительной воды поливы целесообразно проводить с учетом снижения поливных норм и через междурядье.

Согласно существующим рекомендациям, на землях с глубоким залеганием уровня грунтовых вод размер поливных норм хлопчатника назначается по фазам развития в соответствии с расчетным слоем почвы 70-100-10 см. Однако, во вторую фазу развития хлопчатника (цветение-плодообразование) целесообразно расчетный слой почвы принимать равным 70 см, и тогда во все фазы глубина промачивания будет одинаковой и равной 70 см. Опыты УзНИИХ показывают, что в этом случае достигается экономия оросительной воды в 9,5 %, урожай хлопка-сырца повышается на 3,0 ц/га (7,4 %).

На землях с близким залеганием уровня грунтовых вод (луговые почвы) при поливах, рассчитанных на глубину увлажнения 50-70-50 см, по сравнению с глубиной 70-100-70 см, обеспечивается экономия оросительной воды в размере 32 %, повышается урожай хлопка сырца на 0,9 ц/га (2,3 %).

Для повышения эффективности технологии полива хлопчатника через междурядье при сохранении фактора экономии оросительной воды рекомендуется проводить поливы по чередующимся бороздам. Особенность этой технологии заключается в том, что после проведения каждого полива пропашной трактор проводит две операции – рыхление почвы в политых междурядьях и нарезку борозд в смежных сухих междурядьях для следующего полива (рис. 8.1).

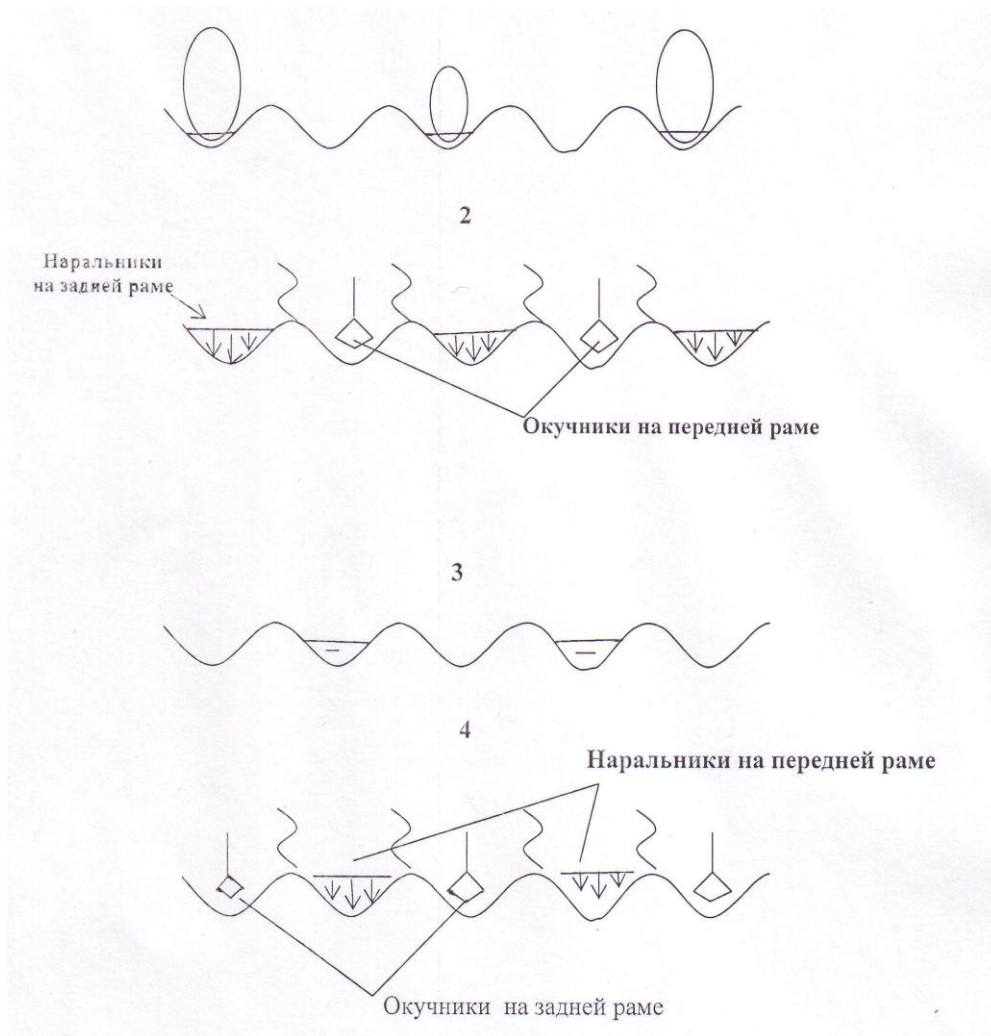


Рис. 8.1. Расположение рабочих органов тракторного культиватора при поливе хлопчатника по чередующимся бороздам (ширина междурядий 60 см: 1. Полив по следу задних колес трактора; 2. Расположение рабочих органов тракторного культиватора после полива; 3. Полив по межколесным бороздам; 4. Расположение рабочих органов тракторного культиватора после полива по межколесным бороздам

На культиваторе пропашного трактора монтируется комплект рабочих органов, состоящий из рыхлителей и окучников. Их положение на рамах культиватора меняется после каждого полива. При комбинированной обработке почвы их количество по сравнению с обычной технологией

существенно сокращается, что позволяет снизить затраты топлива, нагрузку на трактор и почву, увеличить срок службы и трактора и культиватора.

При такой технологии поливов и обработки междурядий корневая система хлопчатника более полно использует запасы питательных веществ почвы, она меньше травмируется рабочими органами и лучше развивается в менее уплотняемой поливами и тракторными обработками почве. Исследования показали, что если поливы проводятся через междурядье по постоянным бороздам, то основная масса корней хлопчатника ориентируется в сторону поливной борозды. При поливе по чередующимся бороздам она практически равномерно распределяется в обе стороны от стержневого корня. Благодаря этому снабжение корневой системы питательными элементами повышается, в результате увеличивается урожай хлопка-сырца.

Исследования, проведенные в 2003-2005 гг. на ЦЭБ УзНИИХ по изучению различной технологии орошения хлопчатника сорта С-6524, выращиваемого с междурядьями 60 см, показали, что при поливе хлопчатника по чередующимся бороздам с одинаковой оросительной нормой брутто с поливом через междурядье – 4710 м³/га, средний за три года урожай хлопка-сырца оказался на 3,3ц/га (11,1 %) выше. Показатели качества хлопка: выход волокна (35,9 %), масса 1000 семян (131 г.), промышленный сорт (1) оказались одинаковыми, а разрывная нагрузка выше (на 6,7 %). Рекомендуемая технология полива хлопчатника по чередующимся бороздам обеспечивает не только экономию топлива, но и получение более высокого урожая хлопка-сырца. Наряду с этим минимизация междурядных обработок почвы способствует экологизации окружающей среды.

9. Внесение глин в русло выводных борозд

В Узбекистане современная поливная техника пока не получила широкого распространения. Поэтому для проведения поливов повсеместно устраивается густая сеть временных оросителей, в частности выводных борозд (ок-арыков). Последние, как периодически действующие каналы, характеризуются большими потерями воды на фильтрацию. Вместе с фильтрационными водами с поля удаляются агрохимикаты, вносимые на поля в период вегетации. Попадая в грунтовые воды, а затем в подземные, они загрязняют источники питьевого водоснабжения, нанося ущерб окружающей среде. Поэтому представляется целесообразным в период проведения экономических реформ, когда цены на поливное оборудование высокие и практически недоступные для арендных коллективов хлопководческих хозяйств, необходимо проводить мероприятия по сокращению потерь оросительной воды на временных земляных каналах. В первую очередь следует снижать потери воды на землях с высокой водопроницаемостью почв. Представляется перспективным использовать для этих целей глинистые почвы из отвалов коллекторов и дрен, а также бентонитовые глины, большими запасами которых располагает Узбекистан [7].

В 1991 г. изучена эффективность внесения бентонитовых глин Кашкадарьинских месторождений в ок-арыки на супесчаных почвах хозяйств Арнасайского района, легкосуглинистых почвах хозяйств Дустликского района Джизакской области. Опыты проводили на отрезках ок-арыков длиной 1 м. Слой воды в них поддерживался на уровне 30 см. Изучали различные технологии внесения: первая предусматривала внесение в сухой ок-арык сухой глины на дно канала, вторая – внесение глины, замачивание ее в течение 10-12 ч, обмазку откосов и дна канала глинистым раствором.

На среднесуглинистых почвах Дустликского района Джизакской области проводили опыты с внесением глины в ок-арык из расчета 30 кг/м с предварительным замачиванием и без ее внесения.

В 1996 г. изучали эффективность бентонитовой глины как средства снижения фильтрационных потерь воды из ок-арыков в госхозе «Акбулак» Пахтакорского района Джизакской области. В ок-арыке, проложенном на легкосуглинистых почвах, были выбраны два отрезка длиной по 5 м. В один из них внесли бентонитовую глину из расчета 10 кг/м, после затопления водой на глубину 15 см фиксировали время сработки уровня воды по мерной рейке, установленной в середине русла ок-арыка.

Исследования показали достаточно высокую эффективность внесения глин в русло ок-арыков. Так, на супесчаных почвах скорость фильтрации за 6 ч составила 51,4 л/ч; в ок-арыке без предварительного замачивания глины, внесенной из расчета 20 кг на 1 м длины канала, 36,5 – л/ч; в ок-арыке с предварительным замачиванием глины – 3,3 л/ч. Внесение глины в ок-арыки на супесчаных почвах снижает фильтрационные потери воды в первом случае в 1,4 раза, во втором – в 16,5 раза.

Для среднесуглинистых почв установлены значения средней фильтрации 4,3 и 14 л/ч. Здесь экран из глины снижает потери воды в первые 5 ч работы ок-арыка в 3,3 раза.

Результаты обработки материалов этого опыта, проведенного в 1996 г. на легкосуглинистых почвах позволили установить зависимости скорости неустановленной фильтрации воды:

в обычном ок-арыке

$$K_t = 0.011 / t^{0.27} \quad (8.1)$$

в ок-арыке с глиной

$$K_t = 0.011 / t^{0.5} \quad (8.2)$$

При фильтрации воды в первый час заполнения ок-арыка скорость впитывания в обоих случаях оказывается одинаковой – 0.011 м/ч, поскольку глина в основном рассыпана по дну ок-арыка и большая часть смоченного водой его периметра остается непокрытой. Через 20 ч после заполнения ок-арыка скорость фильтрации в обычном русле уменьшилась и составила 0.005 м/ч, а в отрезке ок-арыка с глиной – 0.0025 м/ч.

Объем потерь воды за первые 20 ч работы ок-арыка: для неэкранированного русла – 0,37 м; для экранированного – 0,1 м. Таким образом, внесение глины снижает объем фильтрационных потерь из ок-арыка в 3,7 раза.

В Джизакской области удельная протяженность ок-арыков составляет не менее 50 м/га. При внесении глины в ок-арыки из расчета 10-12 кг/м потребуется 0,5-1,0 т/га. Это дает возможность существенно сократить потери дефицитной оросительной воды и поступление в грунтовые воды вносимых на хлопчатник различных пестицидов. Эффект экранирования сохраняется не менее года, так как ок-арыки нарезают ежегодно по одной и той же трассе.

Литература

1. Алпатьев А.М. Влагооборот культурных растений. - Л.: Гидрометеиздат, 1954. - 248 с.
2. Андреев В.Г. О расчете доли осадков, испаряющихся непосредственно с поверхности почвы и растительности. - Труды ГГИ, 1977, вып. 241, с. 76-87.
3. Андреев В.Г. Усовершенствование методики расчетов водного баланса речных водосборов на основе физико-математической модели. - Труды ГГИ, 1977, вып. 241, с. 56-75.
4. Ахмедов Ж.Х., Безбородов Г.А., Безбородов Ю.Г., Камилов Б.С., Шадманов Ж.К., Максадов Х.Э., Хасанов М.М., Мирхошимов Р.Т., Тошматов М., Эсанбеков М.Ю., Исхакова З. Ғўзани сув тежовчи технологиялари ва суғориш муддатлари ва меъърларини тензиометр ёрдамида аниқлаш усуллари / Под. ред. Безбородова Г.А. - Ташкент, УзНИИХ, 2009. - С. 7-10.
5. Багров Н.А. О расчете испарения с поверхности суши. - Метеорология и гидрология, 1954, №2, с. 12-18.
6. Безбородов А.Г., Безбородов Ю.Г. Мелиорирующий эффект при мульчировании полиэтиленовой пленкой орошаемых почв сероземной зоны. // Почвоведение. М., 2000. № 7. с. 861-866.
7. Безбородов А.Г., Безбородов Ю.Г. Метод сокращения потерь оросительной воды. // Вестник Российской академии сельскохозяйственных наук. 1998. № 3. с. 57-58.
8. Безбородов А.Г., Безбородов Ю.Г. Определение влажности почвы портативными системами: методические рекомендации. – Москва. ФГБОУ ДПО РАКО АПК. 2021. – 20 с.

9. Безбородов А.Г., Безбородов Ю.Г. Практикум по обороту земель сельскохозяйственного назначения. – М.: Издательско-полиграфический центр ВОСХОД-А. 2018. – 150 с.
10. Безбородов А.Г., Безбородов Ю.Г. Земельная политика государства в отношении земель сельскохозяйственного назначения на современном этапе. // Вопросы экономических наук. М., 2019. № 6. – с. 13-14.
11. Безбородов Г.А., Безбородов А.Г., Безбородов Ю.Г. Пути улучшения технико-экономических показателей бороздкового полива. // Мелиорация и водное хозяйство. 2011. № 2. – с. 22-25.
12. Безбородов Ю.Г. Ресурсосберегающая технология орошения при мульчировании почвы. - Ташкент: Агросаноат ахбороти, 1999. - 176 с.
13. Безбородов Ю.Г. Теоретическое обоснование и практическая реализация полива пропашных культур по экранированным бороздам: Автореф. дисс...доктора техн. наук. - М., 2010. – 42 с.
14. Безбородов Ю.Г., Безбородов Г.А., Эсанбеков М.Ю. Нормативные показатели качества бороздкового полива. УзНИИХ. <http://www.eessa-water.net/file/bezborodov-bezborodov-esanbekov.pdf>. (дата обращения – 27.02.2022).
15. Безбородов Ю.Г., Безбородов А.Г. Орошение сельскохозяйственных культур в аридной зоне. – М.: Российский государственный аграрный университет – МСХА им. К.А. Тимирязева. 2013. – 545 с.
16. Безбородов Ю.Г., Безбородов А.Г. Влияние климата на водопотребление хлопчатника. // Аграрная наука. 2015. № 3. – с. 16-19.
17. Безбородов Ю.Г., Безбородов А.Г., Безбородов Г.А. Потери оросительной воды на испарение с водной поверхности на орошаемых землях аридной зоны. – В сборнике: Мелиорация и водное хозяйство: проблемы и пути решения. – М.: Всероссийский НИИ агрохимии им. Д.Н. Прянишникова. 2016. – с. 73-77.
18. Безбородов Ю.Г., Безбородов Г.А., Безбородов А.Г. Ресурсосберегающие технологии орошения. – М.: Российский

- государственный аграрный университет – МСХА им. К.А. Тимирязева. 2016. – 196 с.
19. Бреслер Э., Макнил Б.Л., Картер Д.Л. Солончаки и солонцы. Принципы, динамика, моделирование. – Пер. с англ. – Л.: Гидрометеиздат, 1987. – 296 с.
 20. Будаговский А.И. Испарение почвенной влаги. - М.: Наука, 1964. - 243 с.
 21. Будыко М.И. Испарение в естественных условиях. - Л.: Гидрометеиздат, 1948. - 136 с.
 22. Будыко М.И. Об определении испарения с поверхности суши. - Метеорология и гидрология, 1955, № 1, с. 52-58.
 23. Будыко М.И., Зубенок Л.И. Определение испарения с поверхности суши. - Изв. АН СССР. Сер. геогр., 1961, № 6.
 24. Вершинин А.П., Виноградов В.В., Новикова М.И. Систематические погрешности основных методов определения суммарного испарения. - Труды ГГИ, 1980, вып. 268, с. 106-115.
 25. Вершинина Л.К. Оценка многолетней изменчивости влагозапасов верхнего слоя почвогрунтов в осенне-зимний период. - Труды ГГИ, 1969, вып. 178, с. 155-160.
 26. Водогрецкий В.Е., Крестовский О.И. Водобалансовые экспедиционные исследования. - Л.: Гидрометеиздат, 1975. - 144 с.
 27. Водопотребление сельхозкультур (ФАО Материалы по ирригации и дренажу. Книга 29). - Рим, 1976. – 129 с.
 28. Гиляров М.С. Зоологический метод диагностики почв. М.: Наука, 1965. 241 с.
 29. Григорьев А.А. Режим тепла и влаги и географическая зональность. - В кн.: Материалы к 3 съезду Геогр. об-ва СССР. Л.: Отпеч. на множит. аппарате. ВТО СССР, 1959, с. 20-23.
 30. Григорьев А.А., Будыко М.И. О периодическом законе географической зональности. - Доклады АН СССР, 1956, т. ПО, № 1, с.129-132.

31. Денисов И.Ю. Математическая модель дискретного импульсного полива по бороздам: Автореф. дисс... канд. техн. наук. - Ташкент, 1992. – 20 с.
32. Дроздов О.А., Григорьева А.С. Влагооборот в атмосфере. - Л.: Гидрометеиздат, 1963.
33. Дроздов О.А. и др. Погрешности учета атмосферных осадков -Труды ГГО, 1965, вып. 175, с. 24-30.
34. Дроздов О.А. Средние месячные и годовые количества осадков СССР. Автореф. дисс. на соискание учен, степени д-ра геогр. наук. - Л., 1948, с. 15-110.
35. Келлер Р. Воды и водный баланс суши. - М.: Прогресс, 1965. - 435 с.
36. Константинов А.Р. Испарение в природе. - Л.: Гидрометеиздат, 1968. - 532 с.
37. Коссович П.С. Водные свойства почвы. - Журнал опытной агрономии, 1904, кн. 2 и 3, с. 329-365.
38. Костяков А.Н. Основы мелиорации. - М.: Изд. автора, 1927. – 760 с.
39. Костяков А.Н. Основы мелиораций. - М., 1960. – 622 с.
40. Кузин П. С. Карта испарения с поверхности речных бассейнов Союза ССР. - Метеорология и гидрология, 1940, № 11, с. 21-29.
41. Кузин П.С. Метод водного баланса и его практическое значение. - Метеорология и гидрология, 1973, № 4, с. 99-106.
42. Кузнецов В.И. Испарение со снежного покрова. - Труды ГГИ, 1964, вып. 109, с. 3-56.
43. Кузнецов В.И. Исследования испарения с водной поверхности. - Труды ГГИ, 1969, вып. 176, с. 127-148.
44. Кузьмин П.П. О расчетном и экспериментальном способах определения испарения с поверхности снежного покрова. - Труды ЗакНИГМИ, 1974, вып. 58, с. 25-43.
45. Лактаев Н.Т. Полив хлопчатника. - М.: Колос, 1978. – 176 с.

46. Лебедев А.В. Водный и тепловой балансы природных комплексов речных бассейнов. - В кн.: Экологическое влияние леса на среду. Красноярск, 1977, с. 15-48.
47. Лебедев А.В. Определение параметра по данным стационарных наблюдений за влажностью грунтов зоны аэрации. - Труды ВСЕГИНГЕО, 1957, № 15, с. 50-61.
48. Леготина С.И., Орленко Л.Р. О расчете турбулентных потоков тепла и влаги по данным градиентных наблюдений. - Труды ГГО, 1978, вып. 402, с. 29-39.
49. Матвеев Л.Т. Основы общей метеорологии. Физика атмосферы. - Л.: Гидрометеиздат, 1965. – 876 с.
50. Мезенцев В.С. Расчеты водного баланса. – Омск: Отпеч. на многожит. аппарате. ОСХИ, 1976. – 76 с.
51. Мелиорация и водное хозяйство. Орошение. Справочник / Под ред. Шумакова Б.Б. - М.: Колос, 1999. – 432 с.
52. Методические указания управлениям Гидрометслужбы № 52. - Л.: Гидрометеиздат, 1959. – 76 с.
53. Методические указания управлениям Гидрометслужбы № 84. Производство комплексных воднобалансовых наблюдений на опорных пунктах. - Л.: Гидрометеиздат, 1973. - 160 с.
54. Методические указания управлениям Гидрометслужбы №48. Организация наблюдений за режимом подземных вод на водосборах. – Л.: Гидрометеиздат, 1957. – 84 с.
55. Методы изучения и расчета водного баланса. Под редакцией Плиткина Г.А. Монография. Госкомгидромета и ГГИ. Гидрометеиздат, Л.,1981. С.397.
56. Муминов Ф.А. Тепловой баланс и формирование урожая хлопчатника. - Л.: Гидрометеиздат, 1970. - 247 с.
57. Мухамеджанов М.В., Сулейманов С.М. Научные основы размещения хлопчатника в посевах. Ташкент: Узбекистан, 1975. 66 с.

58. Наставление гидрометеорологическим станциям и постам. Вып. 8. Гидрометеорологические наблюдения на болотах. - Л.: Гидрометеоиздат, 1972. - 296 с.
59. Ольдекоп Э.М. Об испарении с поверхности речных бассейнов. - Юрьев: Изд. Юрьевской гидрометобсерватории, 1911.
60. Пенман Х.Л. Растение и влага / Пер. с англ. - Л.: Гидрометеоиздат, 1968. - 164 с.
61. Попов Е.Г. Вопросы теории и практики прогнозов речного стока. - М.: Гидрометеоиздат, 1963. - 395 с.
62. Рекомендации по расчету испарения с поверхности суши. - Л.: Гидрометеоиздат, 1976. - 96 с.
63. Роде А.А. Водные свойства почвогрунтов. - М.: Изд. АН СССР, 1959.
64. Роде А.А. Основы учения о почвенной влаге. Т. 2. - Л.: Гидрометеоиздат, 1959.
65. Роуэлл Д.Л. Почвоведение: Методы и использование. М., «Колос», 1998, 486 с.
66. Руководство по производству наблюдений над испарением с почвы и снежного покрова. Ч. 1. - Л.: Отпеч. на множит. аппарате. ГГИ, 1963. - 155 с.
67. Руми М.Х., Безбородов Г.А., Воронов Г.В., Зуфаров М.А. Разработка и испытания тензиометров ТП-1 в полевых условиях // Агро Илм. Ташкент. 2011.
68. Сеттон О.Г. Микрометеорология. - Л.: Гидрометеоиздат, 1968. - 258с.
69. Скворцов А.А. Орошение сельскохозяйственных полей и микроклимат. - Л.: Гидрометеоиздат, 1964. - 274 с.
70. Слеичер Р. Водный режим растений. - М.: Мир, 1970. - 365 с.
71. Струзер Л. Р. Основные недостатки и пути улучшения методов измерения атмосферных осадков. - Труды ГГО, 1965, вып. 175, с. 5-23.
72. Струзер Л.Р. и др. Методика корректировки многолетних норм осадков. - Метеорология и гидрология, 1965, № 11, с. 43-50.

73. Струзер Л.Р., Богданова Э.Г. Основы методики учета влияния метелей при корректировке норм атмосферных осадков. - Труды ГГО, 1975, вып. 341, с. 18-31.
74. Ташев Х.Т., Безбородов Г.А. Техничко-экономические основы переустройства гидромелиоративных систем. – Ташкент: Узбекистан, 1982. – 149 с.
75. Торопкина А.Л. Жизнедеятельность микрофлоры в сероземах в зависимости от агротехники возделывания хлопчатника. Ташкент: Узбекистан, 1971. 212 с.
76. Тюрк Л. Баланс почвенной влаги. - Л.: Гидрометеоздат, 1958. - 228с.
77. Урываев В.А. Экспериментальное изучение элементов водного баланса и процесса формирования стока. Вопросы географии, разд. гидрология. - В кн.: Сборник статей для XVIII Международного географического конгресса. Отпечатано на множительном аппарате. ВГО СССР. 1956. - 12 с.
78. Харченко С.И. Тепловоднобалансовый метод расчета водного режима (осушения и орошения) почв в Нечерноземной зоне. - Труды ГГИ, 1978, вып. 251, с. 3-25.
79. Хенкс Р.Дж., Ашкрофт Дж.Л. Прикладная физика почв. - Л.: Гидрометеоздат, 1985. - С. 151.
80. PD 10.11.3-89. Испытания сельскохозяйственной техники. Машины и установки поливные. Программа и методы испытаний. – 2004. – 12 с.

1. Инструкция по эксплуатации тензиометров

Проверка работоспособности тензиометра.

Снимается чехол с керамического зонда, открывается крышка и водная камера тензиометра заполняется дистиллированной или прокипяченной водой, температура которой должна быть равной 18-22 градусов С. Во время заполнения водой камеры ее необходимо слегка постукивать снизу вверх для того, чтобы вытеснить воздух из керамического зонда и самой камеры.

Тензиометр устанавливается в вертикальном положении. Если стрелка вакуумметра начнет при этом равномерно двигаться от нулевого деления в сторону пониженного давления, это будет означать, что тензиометр пригоден к работе. После этого прибор опорожняется от воды и на зонд одевается чехол. Такую проверку прибора производят в лаборатории.

Перед установкой в поле опорожненные после лабораторной проверки тензиометры со снятыми чехлами необходимо опустить в сосуд с дистиллированной или прокипяченной водой на 1 час с тем, чтобы заполнить поры керамического зонда водой. После этого зонды необходимо вставить в чехлы и в таком виде перемещать тензиометры в поле.

Установка в почву и уход за тензиометрами в полевых условиях.

Обычным почвенным буром на расчетную глубину бурится скважина, которая затем на длину зонда заполняется замоченной водой вынутой из скважины почвой. В скважину помещается тензиометр, заполненный химически чистой водой с добавлением в нее толуола или другой дезинфицирующей жидкости, и затрубное пространство плотно забивается почвой. На тензиометр со снятой крышкой устанавливается вакуумнасос, с помощью которого из тензиометра откачивается воздух. После удаления воздуха тензиометр плотно закрывается крышкой. При этом вакуумметр должен находиться на высоте 4-5 см от поверхности почвы.

Тензиометр должен располагаться в створе рядка растений, если на поле возделываются пропашные культуры. Для защиты от высоких температур воздуха и попадания пыли в вакуумметр тензиометр необходимо накрывать солнцезащитным чехлом.

Снимать показания тензиометра следует через сутки после его установки, а регулярные наблюдения проводить в одно и то же время суток, обычно утром. При установке в одной точке поля двух тензиометров расстояние между ними должно быть в пределах 0,5-1 м. Во время работы тензиометров в полевых условиях особенно при частой смене периодов опорожнения и заполнения их, обусловленных иссушением и увлажнением почвы, происходит проникновение почвенного воздуха через стенки керамического зонда и накопление его в водной камере, что вносит искажения в работу тензиометра.

Для надежной работы тензиометров необходимо 1-2 раза в месяц проводить профилактическую работу – не вынимая тензиометр из скважины, открутив крышку, долить в тензиометр чистой воды и откачав вакуумным насосом скопившийся воздух, закрутить крышку.

Демонтаж тензиометров и хранение.

После завершения периода работы тензиометр необходимо откопать и извлечь из почвы, почистить снаружи и перенести в помещение для хранения. Затем, открутив крышку, вылить из тензиометра оставшуюся жидкость, отмыть все его составные части, а керамический зонд поместить на 1-2 часа в емкость с дистиллированной водой или в 10 %-ный раствор соляной кислоты.

После промывки и последующей сушки зонд необходимо зачехлить и тензиометр уложить в ящик для хранения. Хранить тензиометр следует в сухом помещении, свободном от кислотных испарений.

Безбородов Александр Германович

Безбородов Юрий Германович

Монография

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ
БОРОЗДКОВОГО ПОЛИВА**