



ФАКУЛЬТЕТ ПОЧВОВЕДЕНИЯ

На правах рукописи

АБДУЛЛАЕВ Анвар Хайдарович

УДК 631.671.1:633.511

КОМПЛЕКСНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВОДО- И СОЛЕОБМЕНА ОРОШАЕМЫХ ПОЧВ
И ВЛАГОБЕСПЕЧЕННОСТИ ХЛОПЧАТНИКА

Специальность 06.01.03 — почвоведение

А в т о р е ф е р а т

диссертации на соискание ученой степени кандидата
биологических наук

ИЗДАТЕЛЬСТВО МОСКОВСКОГО УНИВЕРСИТЕТА • 1983

B. S. D. L. on

631.4

Известны исследования (Бушуев, 1914, 1915; Малыгин, 1935, 1939; Федоров и др., 1934; Степ, 1946; Ковда, 1954; Легостаев, 1959 и др.) влияния вегетационных поливов на водно-солевой режим орошаемых почв. Но процессы переноса влаги и солей изучены либо в лабораторных условиях, либо раздельно для влаги и солей, ли-

бо вне связи с водным режимом растений, его оптимизацией. Вследствие этого затруднено детальное описание механизмов влаго-, солепереноса и водно-солевых режимов орошаемых почв и, в конечном счете, создание прогностической модели соле- и влагообмена орошаемых почв под хлопчатником.

Цель работы. Целью настоящей работы явилось комплексное исследование и оценка влагообеспеченности хлопчатника и влаго-, солеобмена почв после вегетационных поливов и в межполивные периоды на единой методической основе.

Основные задачи исследования. Для детальной комплексной оценки влагообеспеченности хлопчатника и влаго-, солепереноса в почвах после поливов в работе поставлены следующие задачи:

1. Разработка комплекса методов, основанных на едином термодинамическом подходе, для проведения исследований по влагообеспеченности хлопчатника и водо-, солеобмену почв.

2. Оценка влагообеспеченности хлопчатника по данным влагозапасов и на термодинамической основе установление оптимального диапазона давления влаги (Р).

3. Комплексное стационарное изучение влаго- и солепереноса после вегетационных поливов.

Научная новизна. На единой методической основе с помощью термодинамического подхода решена задача комплексного изучения процессов влагообеспеченности хлопчатника и влаго- и солеобмена орошаемых почв, что позволило исследовать состояние влаги в почве и выявить "критическое" значение Р для хлопчатника, изучить механизмы соле- и водообмена почв и количественно оценить влияние вегетационных поливов на водно-солевой режим орошаемых почв.

Полученные результаты позволяют количественно охарактеризовать водно-солевой режим луговых сазовых почв в период вегетации, разработать технологию управления этими процессами с целью избежания отрицательных последствий орошения и могут составить основу для прогностической модели управления водным и солевым режимами почв и водообмена хлопчатника.

Практическая ценность. Разработанный комплексный подход к изучению соле-, водообмена и влагообеспеченности хлопчатника дает возможность совместной количественной оценки водных режимов почв и растений и связанного с ними солеобмена почв. Выявленное "критическое" давление влаги позволяет своевременно оп-

ределять сроки поливов хлопчатника. Полученные закономерности влаго- и солеобмена орошаемых почв дают возможность прогнозировать изменения почв при вегетационных поливах, что весьма важно для разработки мероприятий, направленных на предупреждение их отрицательного влияния.

Апробация работы. Основные положения диссертации доложены на У конференции молодых ученых факультета Почвоведения МГУ (1980 г.); на Закавказской конференции молодых ученых и специалистов, посвященной 60-летию ЛКСМ Армении (Цахкадзор, 1981); на Всесоюзном совещании "Физико-химические проблемы в сельском хозяйстве" (Ленинград, 1981).

Публикации. По теме диссертации опубликовано 5 статей, в печати находится 2.

Объем работы. Диссертация состоит из введения, 5 глав, заключения, выводов и приложения. Работа изложена на 100 стр. машинописного текста, имеет 16 таблиц и 10 рисунков. Список литературы включает 209 наименований, 48 из них - иностранные.

ОБЪЕКТ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ.

1. Природные условия района исследования. Исследования проводились в течение вегетационных сезонов 1980-1982 гг. на Ферганской областной опытной станции хлопководства СоюзНИИХ Узбекиской ССР (ФООСХС). Территория опытной станции размещена в полупустынной зоне, недалеко (10-20 км) от пустынной зоны, что обуславливает переходный характер климата. Длина безморозного периода 198-222 дня. Среднегодовая температура воздуха колеблется в пределах 14,0°C, среднемесячная температура самого теплого месяца (июль) - 34,4°C, а самого холодного (январь) - -0,9°C. Сумма активных температур ($\Sigma t > 10^\circ\text{C}$) воздуха равняется 4401°C, а почвы на глубине 0,2 м - 5454°C. Осадков выпадает около 100-200 мм в основном в зимне-весенний период. Относительная средняя годовая влажность воздуха равна 60%, а за период вегетации - 50%. Среднесуточное испарение со свободной водной поверхности в летние месяцы на хлопковом поле достигает 6,3 мм.

Грунтовые воды залегают неглубоко - 1,0-1,5 м от поверхности почвы. Амплитуда колебания грунтовых вод в течение года составляет в среднем 34 см, достигая в отдельные годы 82 см (Сурминский, 1961). Минерализация грунтовых вод на староорошаемых землях колеблется в пределах 4-12 г/л, тип засоления - хлоридно-сульфатный, магниево-кальциевый.

Источники питания грунтовых вод — подземный приток в форме восходящих токов напорных вод, атмосферные осадки и ирригационные воды.

Территория опытной станции дренируется горизонтальным закрытым дренажем. Междреннее расстояние варьирует в пределах 112–290 м. Удельная протяженность дренажа закрытых дрен составляет 41,3 пог.м/га. Величина среднегодового дренажного модуля при глубине дрен 1,5–1,8 м составляет 0,089 л/сек/га, а при глубине дрен 1,0–1,5 — 0,06–0,08 л/сек/га. Уклон дрен 0,001.

2. Свойства исследуемых почв. Почвенный покров опытной станции представлен луговыми сазовыми почвами, слабо-, среднесоленными разностями на орошаемых полях и сильнозасоленными — на целинном участке. Содержание солей на орошаемом участке в метровом слое колеблется от 0,8 до 1,2% по плотному остатку, а на перелог — больше 3%. В составе солей, по данным анализа водной вытяжки, в обеих почвах содержание SO_4^{2-} больше Cl^- , при этом в орошаемой почве отношение SO_4^{2-} и Cl^- составляет 4,7:1, а на перелог — 16,6:1. Солевой состав орошаемых почв переменен в пространстве: плотный остаток изменяется в пределах 1,2–1,0%, SO_4^{2-} — от 0,8 до 0,1%.

Содержание гумуса в луговых сазовых почвах невелико: в верхней части почвы оно доходит до 1,29–2,04 на перелог и 1,63–1,87% — в орошаемой почве (табл. I). Почвы высококарбонатные. Содержание CO_2 карбонатов изменяется в зависимости от гранулометрического состава и составляет в среднем 9,42% по профилю.

По гранулометрическому составу почвы неоднородны по профилю, горизонты по шкале Качинского (1965) относятся к легко-, средне- и тяжелоуглинистым. В составе фракций следует отметить относительно невысокое содержание крупной пыли (11,4–34,7%), свидетельствующее о слабой облессованности почвогрунтов (табл. 2).

Плотность почв невысокая в верхних слоях — 1,04–1,11 в пахотном слое, книзу увеличивается до 1,44–1,48 г/см³. Общая порозность в обеих почвах довольно высокая — 44,57–60,31% от объема почвы. Полевая влагоемкость колеблется от 27,13 до 40,51%.

3. Методы исследований. В соответствии с целью и задачами исследований нами проводились измерения действительной (Т) и потенциальной (Т₀) транспираций хлопчатника, давления почвенной влаги (Р), влажности (W) почв, а при солевых исследованиях

Таблица I

Некоторые водно-физические и химические свойства луговых сазовых почв Ферганской долины

Почва	Горизонт, глубина, см	Гумус	Плотный остаток	Cl ⁻	CO ₂	Плот- ность твердой фазы почвы	Плот- ность почвы	Пороз- ность общая, %	Полевая влагоем- кость в % от обще- ма почвы
		в % к весу							
				в % к весу почвы	г/см ³				
Луговая сазовая орошаемая	Ап (0- 31)	1,87	1,18	0,01	9,41	2,58	1,11	57,0	32,1
	А1 (31- 46)	1,63	1,25	0,01	8,74	2,60	1,35	48,1	38,1
	В1 (46- 65)	0,85	1,23	0,01	8,74	2,60	1,43	45,0	37,0
	В2 (65- 77)	0,17	1,12	0,01	9,25	2,62	1,45	45,0	37,3
	В3 (77-100)	0,58	1,29	0,01	9,82	2,63	1,48	47,7	39,0
	Вс(100-150)	0,51	1,25	0,01	10,53	2,67	1,48	44,6	39,6
Луговая сазовая целинная	А1 (0- 10)	2,04	3,56	0,36	8,49	2,62	1,04	60,3	27,1
	А1В1 (10- 23)	1,29	3,33	0,15	7,97	2,63	1,06	59,6	27,1
	В1 (23- 53)	0,85	3,15	0,26	8,84	2,63	1,31	50,2	33,6
	В2 (53- 72)	1,05	3,25	0,25	6,03	2,64	1,36	48,5	39,7
	В3 (72-107)	0,60	3,33	0,19	5,47	2,65	1,34	49,4	38,5
	Вс(107-150)	1,87	2,02	0,07	7,31	2,68	1,44	46,3	40,5

Таблица 2

Гранулометрический состав луговых сазовых почв
(в % на абс. сухую почву)

Почва	Горизонт, глубина, см	Гипр. влаги % к весу абс. сух. почвы	размер фракций, мм						Сумма меньше 0,001	Сумма < 0,01
			1 - 0,25	0,25 - 0,1	0,1 - 0,05	0,05 - 0,01	0,01 - 0,005	0,005 - 0,001		
Луговая сазовая орошаемая	Ап(0- 31)	5,1	2,4	5,2	14,8	18,2	17,5	29,4	12,5	59,4
	Ап(31- 46)	5,7	3,2	8,7	31,8	11,4	12,6	21,1	11,2	44,9
	В1В2(46- 77)	4,5	8,3	19,8	24,2	19,5	6,1	10,6	11,5	28,2
	В3(77-100)	4,4	4,2	2,5	5,4	18,9	14,6	29,1	25,6	69,0
	ВС(100-150)	8,5	14,5	6,6	13,3	17,2	9,1	23,1	16,0	48,2
Луговая сазовая целинная	Ап(0- 10)	3,9	1,8	4,6	12,7	34,7	13,4	19,0	13,8	46,2
	А1В1(10- 23)	4,8	1,9	4,2	11,3	31,4	15,1	20,8	15,3	51,2
	В1(23- 53)	4,5	1,2	3,8	11,7	31,1	16,1	16,5	19,6	52,2
	В2(53- 72)	6,9	3,9	4,9	15,1	19,7	15,5	25,1	15,8	56,4
	В3(72-107)	7,3	9,9	10,0	21,2	16,2	13,1	16,7	12,9	42,7
	ВС(107-150)	5,2	4,6	2,2	5,7	16,4	9,2	26,9	35,0	71,1

изучался химический состав гравитационно стекающих и капиллярно поднимающихся растворов.

Для наблюдения над транспирацией хлопчатника применялся метод срезания листьев растения с последующей их экспозицией и вторичным взвешиванием (Иванов и др., 1950). Определение потенциальной транспирации (T_0) также проводилось этим методом на специально оборудованном участке, где создавалась заведомо оптимальная влагообеспеченность растений. Для этого несколько кустов хлопчатника были огорожены металлическими цилиндрами, внутри которых были установлены тензиометры на глубине 20 см для измерения давления почвенной влаги. На этих участках дополнительными поливами поддерживалось давление почвенной влаги (P) близкое к -20 кПа, что соответствовало величине W , близкой к полевой влагоемкости в корнеобитаемой толще.

Параллельно с определением относительной транспирации хлопчатника измерялись давление почвенной влаги пузырьковыми тензиометрами конструкции Суднищина (1979) и влажность почвы буровым методом. Образцы почв на влажность отбирались через каждые 10 см до грунтовых вод.

Исследования солевого состава почвенных вод в профиле почв включали две стадии - анализ гравитационно стекающих и капиллярно поднимающихся поровых растворов. Для сбора проб гравитационно стекающей влаги был применен метод открытых лизиметров в модификации Шиловой. В лизиметрах в качестве водосборной площадки использовались пластмассовые фотографические кюветы, в которых с одной стороны делался вывод через воронку в водосборную емкость. Такие лизиметры врезались в стенку разреза, а из водосборной емкости на поверхность почвы выводилось две резиновые трубки - одна для откачки собранного раствора, другая - для соединения с атмосферой. Лизиметры были установлены на глубинах 30, 50 и 70 см. Воды из лизиметров отбирались в среднем 2 раза в сутки до тех пор, пока еще существовал в почве гравитационный поток. В отобранных лизиметрических водах определялось содержание ионов Ca^{2+} , Mg^{2+} , SO_4^{2-} , Cl^- , HCO_3^- . Анализ проводился общепринятыми методами (Аринюшкина, 1970).

Для отбора поровых растворов, капиллярно передвигающихся в не насыщенной влагой почве, использовался метод вакуум-экстракции керамическими фильтрами марки Ф-II. На кончик фильтра

надевался вакуумный резиновый шланг, а другой конец фильтра был соединен с водосборной емкостью, где собиралась проба капиллярно поднимающегося почвенного раствора. Вакуумным насосом в фильтре создавалось разрежение, равное по абсолютной величине давлению влаги в вышележащем слое. Через некоторое время (около 15-20 часов) производился отбор накопившегося почвенного раствора и дальнейший химический анализ проводился общепринятыми методами. Керамические фильтры были установлены на тех же глубинах, что и лизиметры.

Комплекс указанных методов позволял проводить стационарные исследования по водо- и солеобмену орошаемых почв на единой термодинамической основе. При такой постановке исследований исключалось пространственное варьирование содержания солей в почве, значительно затрудняющее изучение солеобмена почв после вегетационных поливов.

ХАРАКТЕРИСТИКА ВЛАГОБЕСПЕЧЕННОСТИ ХЛОПЧАТНИКА НА ЛУГОВЫХ САЗОВЫХ ЛОУЧАХ.

В настоящее время большое внимание уделяется разработке наиболее прогрессивных методов оценки влагообеспеченности растений. Многочисленными исследователями были предложены различные критерии влагообеспеченности растений: "коэффициент завядания" (Briggs Shantz, 1912), относительная влажность $-W_{отн}$ (Рыжов, 1965; Качинский, 1970), гидротермические коэффициенты (Land, 1920; Селянинов, 1928; Thornthwaite, 1948). Но наиболее универсальной характеристикой влагообеспеченности растений является относительная транспирация (T/T_0) (Алпатов, 1954, 1969; Слейчер, 1970; Судницкая, 1970, 1979), которая наиболее полно отражает состояние влаги в почве и количественно характеризует доступность почвенной влаги. Доступность почвенной влаги зависит прежде всего от давления влаги — энергетической характеристики связи воды с твердой фазой почвы и влагопроводностью почвы (Richards, 1931; Роде, 1965; Судницкая, 1966; Чайлдс, 1973). При термодинамическом подходе к оценке влагообеспеченности растений определяется зависимость T/T_0 от P и величина "критического" давления ($P_{кр}$) — значения P , при котором T/T_0 становится меньше 100%. Применение термодинамического метода для определения нижнего предела оптимального водного питания растений является наиболее прогрессивным среди существующих методов. Однако, данные о величинах $P_{кр}$ и их сравнение с традиционными параметрами,

в частности $W_{отн}$ для хлопчатника практически отсутствуют.

Результаты наших исследований по динамике $W_{отн}$, P и T/T_0 в течение вегетационного периода хлопчатника представлены на рис.1.

Величина относительной влажности почвы для слоя 0-100 см после поливов резко повышается и доходит до 100%. В последующие дни после поливов она постепенно понижается и не опускается ниже 76%. Такое низкое значение относительной влажности почвы наблюдалось на 18-20 день после поливов и ниже этой величины не опускалось, т.к. начинался очередной вегетационный полив. Аналогичные изменения относительной влажности почвы наблюдались и в следующие сроки.

Величины P , как и величины относительной влажности почвы закономерно меняются как в пределах почвенного профиля, так и во времени. Динамика давления почвенной влаги показывает, что наибольшему изменению подвержен верхний 0-30 см слой почвы. Здесь, на глубине 10 см, давление на 2-3-е сутки после поливов составляло -13 — -15, на глубине 20 см — -8 — -10 и на глубине 30 см — -5 — -8 кПа. В последующие дни после поливов этот слой быстро высыхал, давление резко падало до нижнего предела измерения давления влаги тензиометрами (-70 кПа). Такая картина наблюдалась соответственно по слоям к 7-м, 10-м, 13-15-м суткам после полива.

На глубине 40 см после поливов давление составляло -8, -10 кПа, а самое низкое значение -40 кПа наблюдалось к 18-19-м суткам после полива или перед началом следующего полива. На глубине 50 см и ниже резкого изменения давления влаги не наблюдалось, давление влаги здесь колебалось от 0 до -15 — -18 кПа.

Такие же изменения давления влаги наблюдались после всех исследованных поливов, но в некоторых случаях в одни и те же сроки после поливов наблюдались неодинаковые значения P , что связано прежде всего с различными нормами орошения и метеоусловиями, что подтверждается и данными по относительной влажности почвы.

Динамика относительной транспирации хлопчатника также показывает, что в течение почти всего межполивного периода величина относительной транспирации обычно находилась в пределах 100%. Снижение относительной транспирации меньше 100% указывало на недостаток влаги для растений и соответствовало началу полива. После поливов относительная транспирация хлопчатника вновь достигала максимальных значений.

Следует отметить тесную связь относительной транспирации хлопчатника с давлением почвенной влаги на глубине 40 см (рис.2).

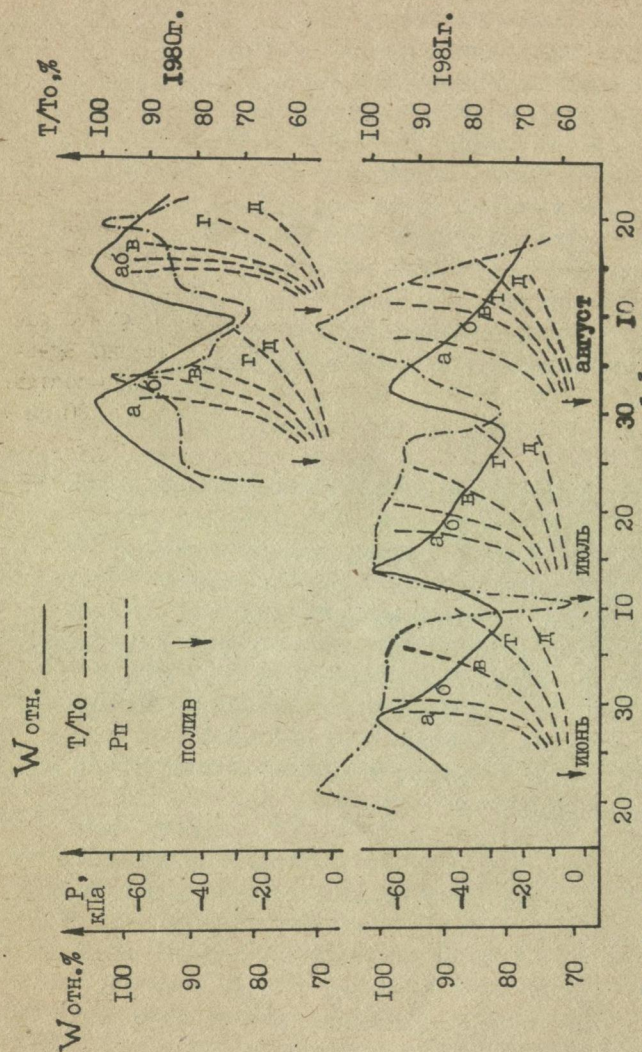


Рис. 1 Динамика относительной влажности почвы ($W_{отн.}$), относительной транспирации хлопчатника (T/To) и давления почвенной влаги (P) на глубинах 10(а), 20(б), 30(в), 40(г) и 50(д) см в течение вегетационных периодов 1980 - 81 гг.

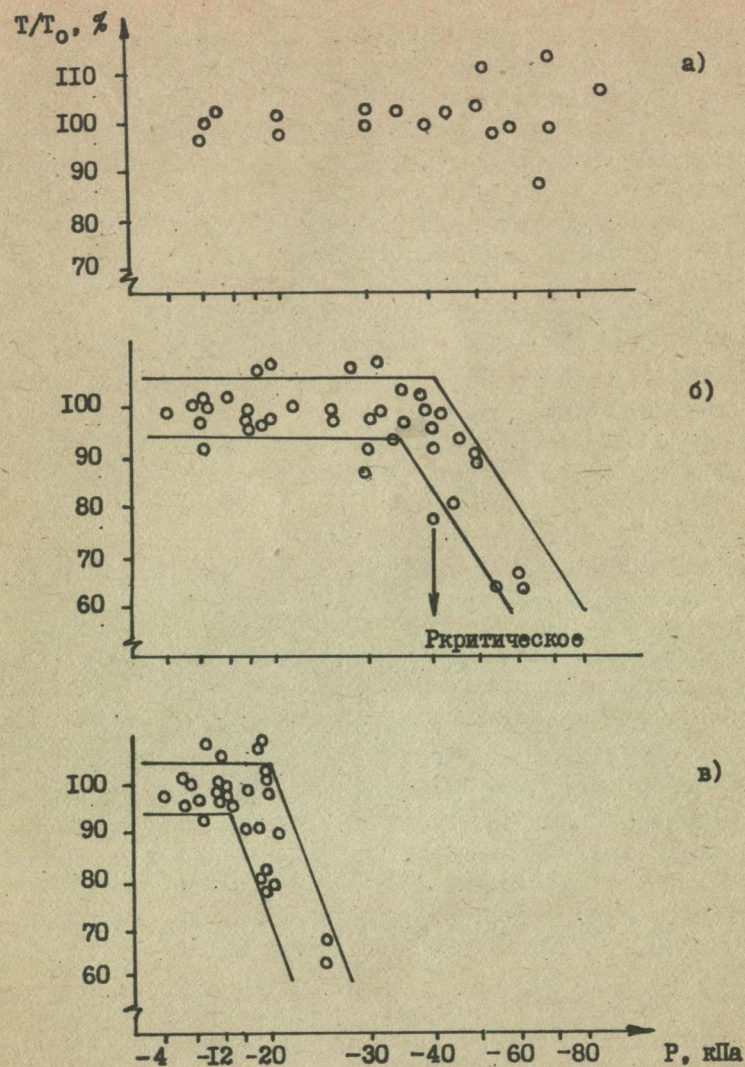


Рис. 2 Зависимость относительной транспирации хлопчатника (T/To) от давления влаги (P , кПа) на глубинах 30 см (а), 40 см (б) и 50 см (в).

Так, определение $P_{кр}$ по тензиометрам, установленным на глубине 30 см, невозможно — нижний предел работы тензиометров наблюдался значительно раньше, чем происходит снижение T/T_0 меньше 100%-ного уровня. На глубине 50 см также довольно затруднительно определение $P_{кр}$, — здесь P изменяется в узких пределах (0–15, 18 кПа), что не позволяет с достаточной точностью измерять $P_{кр}$ данной конструкции тензиометров. Оптимальной глубиной установки тензиометров для определения $P_{кр}$ следует признать глубину 40 см (рис. 2б), а величину 40 кПа — "критическим" давлением влаги для хлопчатника в условиях Ферганской долины на луговых сазовых почвах. Как видно из рис. 2б, при уменьшении P на глубине 40 см до 40 кПа относительная транспирация остается на высоком уровне, близком к 100%-ному. Однако, при достижении P 40 кПа и более низких величин, T/T_0 снижается, что однозначно указывает на ухудшение влагообеспеченности хлопчатника. Глубину 40 см можно считать определенной качественной ступенью, переходной от верхней, пересушенной, к нижней, весьма увлажненной толще. Этот факт, по-видимому, можно объяснить гидрологическими свойствами почв, которые способствуют гидродинамической связи между грунтовыми водами и почвенной влагой на глубине 40 см, в связи с чем возможен подток влаги в этот слой из грунтовых вод, а кроме того строением корневой системы хлопчатника.

Достижение P 40 кПа на глубине 40 см и снижение T/T_0 ниже 100% обычно совпадало с величиной $W_{отн}$ 75–80% и начинался очередной полив. В целом, сроки вегетационных поливов соответствовали достижению в почве "критического" давления, что указывает на оптимальную влагообеспеченность хлопчатника. При этом комплексный подход к оценке водообмена растений и почв требует ответа и на другой важный вопрос: является ли этот поливной режим и, соответственно, водный режим почв оптимальным для почв, не происходит ли ухудшения ее свойств, накопление солей?

Для ответа на эти вопросы были проведены исследования по оценке передвижения солей при данном водном обмене почв, изложенные в главе "Водо- и солеобмен луговых сазовых почв при вегетационных поливах".

ВОДО- И СОЛЕОБМЕН ЛУГОВЫХ САЗОВЫХ ПОЧВ ПРИ ВЕГЕТАЦИОННЫХ ПОЛИВАХ.

Многочисленными исследователями (Рыжов, 1948; Егоров, 1954; Ковда, 1966, 1967; Розанов, 1973, 1975 и др.) установлено, что в орошаемых почвах аридных зон в условиях недостаточного естественного оттока и при нарушении технологии полива наблюдается подъем уровня грунтовых вод и вторичное засоление почв.

В работах Федорова (1934), Малыгина (1935), Ковды (1954) и др. изучено влияние вегетационных поливов на солевой режим орошаемых почв, при этом некоторые исследователи (Ковда, 1954; Легостаев, 1959; Панков, 1962) считают необходимым поддержание промывного водного режима на орошаемых землях в целях предотвращения сезонного соленакопления. В ряде работ указывается на увеличение содержания солей в орошаемых почвах при поливах водами недостаточного высокого качества (Легостаев, Лунев, 1977; Крупеников и др., 1978). Таким образом, многофакторность процесса соленакопления вызывает необходимость его изучения в каждом конкретном случае с применением различных методов.

Как известно, миграция солей в орошаемых почвах осуществляется почти исключительно в жидкой фазе. Основной же причиной движения влаги в почве является наличие градиента ее давления. Скорость движения влаги определяется величинами градиента и влагопроводностью почв. Все эти элементы системы, образующие водно-солевой режим почв, взаимосвязаны. Поэтому изучение водно-солевого режима орошаемых почв должно быть комплексным и на единой методической основе.

Для расчета передвижения солей в почве необходимо знать количество почвенного раствора, передвигающегося как с гравитационным нисходящим током, так и капиллярно-плечным восходящим. В связи с этим, первоначальной задачей в исследовании солеобмена почв явилась количественная оценка передвижения влаги в пределах почвенного профиля. Использовался термодинамический метод, который позволяет количественно оценить передвижения влаги в насыщенной и не насыщенной влагой почве (Слейчер, 1970; Судницин, 1964, 1979). Зная химический состав передвигающихся почвенных растворов, можно судить о формировании солевого режима при том или ином водном режиме почв.

Как было сказано выше, изучение водного режима почв включало

в основном две стадии - учет гравитационно-стекающих и капиллярно поднимающихся растворов.

При характеристике гравитационного стока использовался балансовый метод. Этот метод был предпочтен, например, расчетному с использованием коэффициента фильтрации, в связи с трудностями точного измерения гидростатических напоров, учета фильтрационных аномалий при малых величинах перепадов в полевых условиях. Используемый балансовый метод включал ежедневные измерения запасов влаги в слоях 0-30, 30-50 и 50-70 см, транспирационного расхода, физического испарения с поверхности воды и почвы. Данные по поливным нормам были представлены станцией СоюзНИИХИ. Физическое испарение с поверхности почвы, определенное испарителями Рыкачева, относилось в этот период к поверхностному 0-30 см слою. Испарение с поверхности воды учитывалось лишь в первый день после полива. Транспирационный расход распределялся по исследуемым слоям с учетом концентрации корней в слое. Такой расчет основан на том, что вся корнеобитаемая толща в момент гравитационного стока имеет давление влаги, близкое к 0. В этих условиях транспирационный расход из слоя в общем расходе влаги на транспирацию определяется только концентрацией корней в слое (Шейн, 1975; Судницын, 1979).

В табл.3 в качестве примера приведена динамика гравитационных потоков влаги и основных параметров, определяющих ее после полива 25 июля 1980 г.

Анализируя данные, представленные в табл.3, а также данные других поливов, можно сказать, что максимальное количество стекающих внутрипочвенных вод наблюдалось в I-е сутки после полива, затем, на следующие сутки, резко уменьшалось. В целом гравитационный поток существовал в среднем в слое 0-30 см до 3-х, в слое 30-50 см - около 4-х, в слое 50-70 см - до 5-ти суток.

Восходящий поток влаги рассчитывали термодинамическим методом по величинам давления влаги и коэффициента влагопроводности почв по модифицированному закону Дарси (Childs, Collis-George, 1950; Судницын, 1960): $i = -K_{\text{вл}} \cdot \Delta P / \Delta l$, где i - поток влаги в мм/сут, $K_{\text{вл}}$ - коэффициент влагопроводности, мм/сут; $\Delta P / \Delta l$ - градиент давления влаги, см/см или гПа/см. Следует отметить, что значения P в области давлений < -70 кПа, т.е. за пределами работы тензиометров, определялись по полевым значениям W и полученным в лаборатории кривым водоудержания для соответствующих слоев. Динамика $K_{\text{вл}}$

Таблица 3

Динамика элементов водного баланса после полива 25 июля 1980 года

Слой, см	Элементы баланса, мм	до полива	сутки после полива				
			1	2	3	5	
0 - 30	норма полива	-	125,0	-	-	-	-
	запасы влаги	81,6	115,9	105,0	93,9	85,8	
	транспирация	-	6,8	6,9	8,1	7,8	
	испарение с пов-ти воды	-	6,3	нет	нет	нет	
	испарение с пов-ти почвы	-	5,7	3,3	1,9	0,1	
30 - 50	гравитационный поток	-	71,9	нет	нет	нет	
	запасы влаги	67,9	81,2	78,2	74,7	71,3	
	транспирация	-	2,8	2,9	3,4	3,3	
	гравитационный поток	-	55,8	нет	нет	нет	
	запасы влаги	67,0	98,0	87,8	79,6	76,7	
50 - 70	транспирация	-	1,7	1,7	2,0	1,9	
	гравитационный поток	-	16,2	3,5	2,3	1,2	

также определялась на основании зависимости $K_{\text{вл}}$ от W , полученной экспериментально в лабораторных условиях.

Использование в данном случае балансового метода затруднено: при отрицательных давлениях влаги транспирационный расход влаги из различных слоев будет сложным образом зависеть не только от концентрации корней, но и от динамики P в этих слоях.

Результаты наших исследований по динамике P , $K_{\text{вл}}$ и i , приведенные в табл. 4, показывают, что в первые сутки после полива восходящий поток не отмечался, начиная со 2-х суток в слоях 0-30 и 30-50 см уже наблюдался восходящий поток влаги.

Динамика P , $K_{\text{вл}}$ и i показывает, что максимальные значения P и $K_{\text{вл}}$ наблюдались в первые 7 суток после полива. Максимальное значение восходящего потока отмечалось на 6-е сутки в слоях 0-30 и 50-70 см и на 3-и сутки в слое 30-50 см, что связано с ростом градиента P и резким уменьшением $K_{\text{вл}}$. По мере иссушения почвы, значения P , $K_{\text{вл}}$ и i уменьшались и самое низкое значение этих параметров наблюдалось к 15-17 суткам после полива или перед началом очередного вегетационного полива.

Исследование солевого состава гравитационного стекающих и капиллярно поднимающихся поровых растворов явилось основой для расчета солеобмена изучаемых почв в период вегетации.

Прежде всего следует отметить, что минерализация поливной воды в канале составляла 0,45 г/л, а в точке наблюдения, непосредственно над лизиметрами, в поливной борозде — 0,62 г/л. В процессе движения по бороздам поливные воды обогащались Ca^{2+} , содержание которого возрастало от 12,1 до 30 мг-экв/л. Содержание SO_4^{2-} увеличилось от 11,4 до 33,1 мг-экв/л, HCO_3^- — от 2,8 до 3,9 мг-экв/л. Содержание Cl^- в арыке и над разрезом оставалось неизменным.

В табл. 5 представлен химический состав гравитационно стекающих и поровых растворов после полива 25 июля 1980 г. Как видно из этой табл., различия в химическом составе вод над разрезом и лизиметрических вод на глубине 30 см незначительны, хотя имелись некоторые особенности. Так, в лизиметрических водах появлялся Mg^{2+} , который отсутствовал в поливных водах, а его концентрация достигала в среднем около 39,0 мг-экв/л. Концентрация Cl^- и HCO_3^- в лизиметрических водах увеличивалась, а концентрация SO_4^{2-} уменьшалась. Практически неизменной осталась концентрация Ca^{2+} .

Таблица 4

Динамика давления почвенной влаги ($-P$, кПа), градиента давления почвенной влаги ($\Delta P/\ell$, кПа/см), коэффициента влагопроводности ($K_{\text{вл}}$, см/сут) и потока влаги (i , см/сут) после полива 25.07.80г.

Слой, см	Сутки после полива	$-P$	$\Delta P/\ell$	$K_{\text{вл}}$	i
0 - 30	2	50,0	1,8	$77,76 \cdot 10^{-3}$	0,1399
	3	65,0	1,4	$72,58 \cdot 10^{-3}$	0,1016
	5	105,0	2,4	$37,15 \cdot 10^{-3}$	0,0892
	6	160,0	4,1	$43,20 \cdot 10^{-3}$	0,1771
	7	295,0	8,2	$19,01 \cdot 10^{-3}$	0,1559
	10	805,0	26,8	$32,83 \cdot 10^{-4}$	0,0880
30 - 50	14	7500,0	292,0	$82,94 \cdot 10^{-6}$	0,0242
	2	65,0	0,3	$37,15 \cdot 10^{-2}$	0,0093
	3	30,0	1,5	$15,52 \cdot 10^{-2}$	0,2328
	5	45,0	1,3	$85,54 \cdot 10^{-3}$	0,1069
	6	57,5	0,9	$61,34 \cdot 10^{-3}$	0,0539
	7	90,0	2,3	$43,20 \cdot 10^{-3}$	0,0972
50 - 70	10	135,0	3,3	$28,51 \cdot 10^{-3}$	0,0927
	14	200,0	4,5	$16,24 \cdot 10^{-3}$	0,0731
	6	40,0	1,0	$10,37 \cdot 10^{-2}$	0,1037
	7	45,0	0,8	$69,98 \cdot 10^{-3}$	0,0525
	10	70,0	1,5	$44,06 \cdot 10^{-3}$	0,0661
	14	110,0	0,8	$18,58 \cdot 10^{-3}$	0,0139

Мало изменился химический состав лизиметрических вод на глубине 30-50 см и в первые дни после полива в слое 50-70 см. Однако, на вторые сутки после полива в слое 50-70 см концентрация ионов несколько уменьшилась, а начиная с 3-4 суток после полива минерализация лизиметрических вод возрастала, оставаясь затем практически неизменной. Такое увеличение минерализации лизиметрических вод связано, по-видимому, с постепенным растворением труднорастворимых соединений, например, CaSO_4 , выходом ионов из различных "застойных" зон почвы и передвижением их с гравитационной влагой.

В поровых растворах слоев 0-30 и 30-50 см в малом количестве (около 0,8 мг-экв/л) появляется CO_3^{2-} , который отсутствовал в лизиметрических водах. Следует отметить, что после 2-3 суток концентрация поровых растворов уменьшалась, что, вероятно, связано с выпадением части солей в осадок, в особенности гипса, в отношении которого все растворы являются пересыщенными.

Расчет количества переносимых с током влаги ионов позволил вскрыть некоторые характерные особенности солеобмена луговых сазовых почв при вегетационных поливах. В частности, при поливе 25.07,80 г. основное накопление ионов происходило в слое 30-50 см, причем, главным образом за счет гравитационного притока. Лишь CO_3^{2-} накапливался в этом слое за счет капиллярного подтока растворов. Засолялся, хотя и в незначительной степени, и слой 50-70 см также только за счет более значительного привноса ионов с гравитационно стекающими растворами. На стадии восходящего и одновременных восходящего и нисходящего передвижений влаги этот слой рассолялся. Поверхностный 0-30 см слой в целом рассолялся: лишь Ca^{2+} , HCO_3^- и CO_3^{2-} накапливались, причем два первых иона вследствие довольно значительной их концентрации в поверхностных водах.

Анализ перераспределения отдельных ионов после данного полива показывает накопление Cl^- , как самого токсичного иона, в наибольшей степени в глубинных слоях только за счет гравитационной влаги, SO_4^{2-} , HCO_3^- , Mg^{2+} в слое 30-50 см также за счет поступления их с гравитационной влагой.

Таким образом, чрезвычайно важными для формирования солеобмена данных почв является исследования на стадии нисходящего передвижения поровых растворов и, особенно, качества поливной воды. Рассоляющее действие капиллярно-поднимающихся растворов проявляется на глубине 50-70 см.

При анализе передвижения ионов и формирования солевого баланса при поливах в другие сроки и на менее засоленном участке поля под хлопчатником отмечаются в целом те же характерные особеннос-

Таблица 5

Количество гранитационно-стекающего ($\downarrow$) и восходящего ($\uparrow$) потоков почвенных растворов (мм), их химический состав (мг·экв/л) в различные сроки после полива 25 июля 1980 г. и баланс ионов (кг/га) по слоям луговой сазовой почвы.

Слой, см	Ионы	Арык над разрезом	Срок после полива (сутки)						ХIV	Σ тран. ион. Σ восх. ион.	Баланс ионов
			I	II	III	У	УI	Х			
I	2	3	4	5	6	7	8	9	10	II	12
0 - 30	Ca ²⁺	12,1 30,0	31,4	37,0	36,0	35,6	33,0	38,5	35,6	+298,5 +81,3	+379,8
	Mg ²⁺	нет нет	38,6	31,0	24,0	34,4	30,0	32,5	31,7	-333,0 +41,9	-291,1
	SO ₄ ²⁻	11,4 33,1	72,3	69,3	61,8	75,7	65,2	77,7	71,6	-509,2 +386,9	-122,3
	Cl ⁻	1,0 1,0	3,6	6,1	6,8	8,2	6,8	6,7	6,7	-48,2 +27,6	-20,6
	HCO ₃ ⁻	2,8 3,9	5,7	2,6	2,7	2,2	2,8	2,8	2,8	+47,4 +18,1	+65,5
	CO ₃ ²⁻	нет нет	нет	нет	нет	1,4	0,8	0,4	0,4	нет +1,8	+1,8
количество раствора			71,90	1,40	1,02	1,78	1,77	4,20	0,97		
30 - 50	Ca ²⁺		26,3	36,3	27,0	22,0	27,5	25,0	26,0	+158,1 -21,8	+136,3
	Mg ²⁺		33,9	30,4	35,0	31,0	47,5	71,0	75,0	+106,1 +37,5	+143,6
	SO ₄ ²⁻		62,3	56,5	64,1	66,3	76,6	104,4	100,8	+826,6 +104,7	+931,0

табл.5 (продолжение)

I	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	Cl ⁻		3,5	7,5	4,0	3,7	3,8	5,2	4,6	+22,9 -8,6	+14,3
30 - 50	HCO ₃ ⁻		5,1	4,1	1,8	4,4	3,4	4,7	5,0	+76,4 +15,1	+91,5
	CO ₃ ²⁻		нет	нет	0,8	0,8	1,2	0,8	1,6	нет +1,8	+1,8
количество раствора		55,80	0,09	2,33	2,14	0,54	3,75	2,92			
	Ca ²⁺		27,5	26,5	55,5	50,7	24,2	27,5	26,0	+203,4 -93,6	+109,8
	Mg ²⁺		47,1	33,8	49,5	58,0	49,5	28,8	52,5	+135,4 -96,9	+38,6
	SO ₄ ²⁻		72,8	60,4	105,6	107,9	78,3	56,2	107,8	+1102,6 -638,3	+469,3
	Cl ⁻		1,8	1,8	1,3	1,5	5,2	1,5	1,8	+59,8 -19,3	+40,5
	HCO ₃ ⁻		4,2	3,4	6,9	5,0	5,6	2,3	2,0	+132,1 -42,3	+89,8
	CO ₃ ²⁻		нет	нет	нет	нет	0,6	нет	нет	нет -3,4	-3,4
количество раствора		16,20	3,47	2,34	1,16	1,04	2,51	0,56			

↑↑ - направление потока; + - накопление, - - выщелачивание ионов.

Таблица 6

Баланс ионов в различных слоях луговой сазовой почвы
(незасоленный участок) при вегетационных поливах 1981-82 гг.

Слой, см	Ионы	Сроки поливов			
		1.08.81г.	21.06.82 г.	18.07.82г.	11.08.82г.
0 - 30	Ca ²⁺	+65,9	-115,1	-25,5	-176,1
	Mg ²⁺	+125,1	-46,6	-5,1	-94,9
	SO ₄ ²⁻	+214,9	-422,0	-477,6	-828,8
	Cl ⁻	+79,4	+20,5	+42,7	+17,8
	HCO ₃ ⁻	+286,5	+115,4	+59,6	-0,8
	CO ₃ ²⁻	+4,3	+11,5	-2,5	-4,2
30 - 50	Ca ²⁺	+171,6	+81,4	+69,9	+68,0
	Mg ²⁺	+113,9	+13,0	+25,3	+44,9
	SO ₄ ²⁻	+649,7	+142,3	+523,3	+379,5
	Cl ⁻	+32,4	+5,1	+13,1	+8,3
	HCO ₃ ⁻	+28,4	+21,8	+64,3	+33,2
	CO ₃ ²⁻	+0,1	+0,7	+4,6	+6,5
50 - 70	Ca ²⁺	+56,8	+1,0	+74,6	+130,6
	Mg ²⁺	+31,2	-5,1	+29,6	+58,0
	SO ₄ ²⁻	+202,8	+43,0	+290,8	+452,4
	Cl ⁻	+23,3	+2,1	+24,5	+26,3
	HCO ₃ ⁻	-11,1	-25,6	+41,0	+78,7
	CO ₃ ²⁻	-3,8	-2,1	+1,8	+4,7

ти (табл.6): накопление ионов происходит в слоях 30-50 и 50-70 см, в основном, за счет притока их с гравитационной влагой.

Таким образом, данный подход к оценке солеобмена позволяет проследить механизм его формирования, выделить основные балансовые статьи. Совместно с анализом водного режима почв и расте-

ний он позволяет прогнозировать солевой баланс луговых сазовых орошаемых почв. Например, в случае больших поливных норм, при большом гравитационном стоке, возможно интенсивное накопление солей преимущественно в слое 30-50 см, а Cl^- - в поверхностном, наиболее жизненно важном слое почвы. Особенно важно в этом случае следить за качеством поливных вод.

Безусловно, подобный прогностический анализ носит пока лишь качественный характер, однако, при применении математических моделей может стать строго количественным, рассматривающим всевозможные варианты. В этом случае только комплексный подход к исследованию водо- и солеобмена почв, позволяющий контролировать направление и количество передвигающихся поровых растворов и водообеспеченность хлопчатника на единой методической основе, может обеспечить составление пакета стандартных программ по прогностическому расчету оптимальных агротехнических и мелиоративных мероприятий.

ВЫВОДЫ

1. Луговые сазовые почвы Ферганской областной опытной станции хлопководства СоюзНИХИ характеризуются невысокой плотностью - $1,10 \text{ г/см}^3$ в пахотном, от $1,35$ до $1,48 \text{ г/см}^3$ - в подпахотном и нижележащих слоях; хорошей водопроницаемостью - коэффициент фильтрации $2,11 \text{ м/сут}$; тяжелым гранулометрическим составом - содержание частиц менее $0,01 \text{ мм}$ колеблется в пахотном слое от $44,9$ до $59,4\%$, а в нижних слоях - от $28,2$ до $69,0\%$ и хорошим микроагрегатным составом - в соответствующих слоях содержание микроагрегатов меньше $0,01 \text{ мм}$ составляет $15,9$ - $20,4$ и $13,4\%$. В составе микроагрегатов преобладает (выше 40%) фракция, соответствующая по размеру мелкому песку.

2. Температурный режим луговых сазовых почв складывается благоприятно для развития хлопчатника. Наиболее высокая температура почвы поверхностного 30 см слоя наблюдается в июне-июле месяце и составляет в среднем 25°C , понижается к августу до $22-23^\circ\text{C}$.

3. Исследование водообеспеченности хлопчатника на основе изучения относительной транспирации и тензиометрического давления почвенной влаги позволило определить "критическое" давление почвенной влаги, при котором следует производить полив. В условиях

Ферганской долины эта величина составила -40 кПа на глубине 40 см. В целом за годы исследования (1980-1982 гг.) величины давления почвенной влаги ниже критического значения наблюдались очень редко, что указывало на высокую культуру агротехники возделывания хлопчатника.

4. Комплексный метод изучения соле- и водообмена почв и водообеспеченности хлопчатника предполагает изучение солевого режима почв при оптимальном водном режиме хлопчатника. Основой для изучения солевого режима явилась оценка количеств гравитационно стекающего и капиллярно поднимающегося растворов, а также их химического состава.

5. При применяемых поливных нормах ($900-1200 \text{ м}^3/\text{га}$) гравитационный сток после вегетационных поливов наблюдается в течение первых 5-ти суток, а его интенсивность, определенная балансовым методом, колебалась в слое 0-30 см от $46,3$ до $71,9$, в слое 30-50 см - от $19,0$ до $55,8$ и в слое 50-70 см - от $0,3-0,6$ до $25,2 \text{ мм/сут}$.

Величина капиллярного подтока рассчитывалась по градиенту давления влаги и коэффициенту влагопроводности ($K_{\text{вл}}$). Она достигала максимума в слое 0-30 см преимущественно на 7-10 сутки ($0,111-0,193$) после полива, в слое 30-50 см ($0,046-0,233$) на 13-19 сутки и в слое 50-70 см ($0,028-0,104 \text{ см/сут}$) - на 5-12 сутки после полива. В эти сроки градиент давления достигал высоких величин при сравнительно высоких значениях $K_{\text{вл}}$. Дальнейшее снижение восходящего потока связывалось со стремительным уменьшением $K_{\text{вл}}$. В конце межполивного периода интенсивность восходящего потока снизилась в слое 0-30 см до $0,004$, 30-50 см - до $0,071$ и 50-70 см - до $0,011 \text{ см/сут}$.

6. Концентрация ионов гравитационных растворов в глубинных слоях достигала максимума через 2-3 суток (Ca^{2+} - до $55,5$; Mg^{2+} - $49,5$; SO_4^{2-} - $105,6$ и Cl^- - $4,2 \text{ мг·экв/л}$), что связано с растворением труднорастворимых соединений и выходом солей из "застойных" зон.

Концентрация солей в восходящих растворах превосходит или равна концентрации солей в нисходящих и несколько уменьшается к концу межполивного периода (в основном ионы SO_4^{2-} - до $71,6$; Ca^{2+} - до $35,6$ и Mg^{2+} - до $31,7 \text{ мг·экв/л}$).

7. Баланс солей, рассчитанный на основе химического состава

передвигающихся почвенных растворов, положительный в отношении всех ионов лишь в слое 30-50 см, в основном за счет их привноса с гравитационным стоком.

В незасоленных почвах возможно накопление Cl^- в поверхностных слоях также за счет поступления в основном с гравитационным потоком. Однако, этот привнос не может привести к соленакоплению, вызывающему снижение почвенного плодородия: избыток солей легко устраняется профилактическими зимними поливами.

8. Комплекс изученных оптимальных агрофизических и химических параметров и влагообмен в системе почва-растение-атмосфера благоприятно сказываются на росте и развитии хлопчатника и обеспечивают высокий (около 40 ц/га) урожай хлопка-сырца.

9. Предлагаемый комплексный подход, использующий единую методическую основу, может обеспечить составление пакета стандартных программ по прогностическому расчету оптимальных агротехнических и мелиоративных мероприятий.

Материалы диссертации опубликованы в работах

1. Определение наиболее репрезентативной глубины установки тензиометров. Тезисы докладов Закавказской конференции молодых ученых и специалистов, посвященной 60-летию ЛКСМ Армении, Цахкадзор, 1981, с. 35-36 (в соавторстве).

2. Водно-солевые исследования, составляющие основу прогностического моделирования состояния орошаемых земель. Тезисы докладов Межфакультетской конференции "МГУ - сельскому хозяйству", Изд-во МГУ, 1982, с. 27-28 (в соавторстве).

3. Особенности температурного режима лугово-сазовых почв. Труды Ин-та почвоведения и агрохимии АН УзССР, вып. 22, Ташкент, 1982, с. 87-89.

4. Возможности применения тензиометров для диагностики сроков полива хлопчатника. Труды ТашГУ, сер. почвоведение и агрохимия, вып. 699, Изд-во ТашГУ, Ташкент, 1982. (в соавторстве).

5. Температурный режим лугово-сазовых почв. В сб. "Труды У конференции молодых ученых ф-та Почвоведения МГУ", 1982, с. 2-3, (Рукопись депонирована в ВИНТИ 18 января 1983 г., № 286-83 Деп).

Подп. к печати 22/12-83 Л. 108359 Ф.
Бум. тип. № Физ. п. л. 1.5 Уч.-изд. л. 1.0
Заказ 1485 Тираж 100

Изд-во Московского университета. Москва, К-9.

ул. Герцена, 5/7.

Типография Изд-ва МГУ. Москва, Ленгори