А. В. ШУРАВИЛИН

Регулирование водно-солевого режима почв Голодной степи



ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ СССР
ПО НАРОДНОМУ ОБРАЗОВАНИЮ

А. В. ШУРАВИЛИН

РЕГУЛИРОВАНИЕ ВОДНО-СОЛЕВОГО РЕЖИМА ПОЧВ ГОЛОДНОЙ СТЕПИ

Москва
Издательство Университета дружбы народов
1989

ББК 40.626
Ш 95

Утверждено
Редакционно-издательским советом Университета

Рецензенты:
канд. техн. наук, проф. *П. А. Волковский*,
канд. биол. наук *Л. Б. Боровинская*

Шуравилин А. В.

Ш 95 Регулирование водно-солевого режима почв Голодной степи: Монография. — М.: Изд-во УДН, 1989. — 191 с., ил.

ISBN 5-209-00155-5

Рассматриваются приемы регулирования водно-солевого режима почв в зоне старого орошения на фоне вертикального дренажа и в зоне нового орошения на фоне горизонтального дренажа и мероприятия по их совершенствованию. Особое внимание уделяется промывке засоленных почв, режиму и технике орошения хлопчатника.

Приводятся эффективные методы ускоренного рассоления и освоения трудномелиорируемых гипсоносных почв с использованием агромелиоративных приемов и химмелиорантов.

Для специалистов в области почвоведения, мелиорации и орошаемого земледелия, научных сотрудников, аспирантов и студентов сельскохозяйственных вузов.

3804000000—066
093(02)—89 20—89

ББК 40.626

ISBN 5-209-00155-5

© Издательство Университета дружбы народов, 1989 г.

ВВЕДЕНИЕ

В соответствии с решениями XXVII съезда КПСС осуществляется широкая программа по мелиоративному улучшению староорошаемых земель в Средней Азии и на юге Казахстана. Для значительной части площадей этой зоны, особенно в районе хлопкосеяния, характерно первичное, чаще подпочвенное засоление, обусловленное спецификой почвенно-климатических и гидрогеологических условий. Поступающие с речными и грунтовыми потоками соли накапливаются вследствие расходования влаги на физическое испарение и транспирацию растениями. Орошение в этих районах существенно влияет на режим грунтовых вод и сложившийся водно-солевой баланс. В условиях слабой естественной дренированности орошение повышает уровень минерализованных грунтовых вод и весьма активно способствует вторичному засолению. Соли в почву поступают также с поливной водой, минерализация которой за последнее время увеличилась от 0,2—0,3 до 0,9—1,5 г/л и более. Возрастающее засоление речных вод становится глобальным процессом.

Площади засоленных земель в хлопковой зоне, нуждающиеся в улучшении мелиоративного состояния, составляют около 2,6 млн га, в том числе в Узбекской ССР — 1,1 млн га (Мамарасулов, 1974). Установлено, что урожайность хлопка-сырца снижается на слабозасоленных почвах на 7—10%, среднезасоленных — на 40—50% и сильнозасоленных — на 80% и более. Из-за засоления недобор хлопка-сырца ежегодно достигает 1—1,5 млн т (Егоров, 1972; Ковда, 1981).

Одним из крупнейших районов отечественного хлопководства в Средней Азии является Голодная степь. Здесь расположены орошаемые земли Сырдарьинской и Джизакской областей Узбекской ССР (471,2 тыс. га), Чимкентской области Казахской ССР (122,4 тыс. га) и Ленинабадской области Таджикской ССР (14,2 тыс. га). Площадь хлопчатника в 1986 г. в целом составила 420 тыс. га, а урожайность хлопка-сырца 2,45 т/га. Природные условия позволяют получать более высокие урожаи хлопка-сырца. Об этом свидетельствует опыт таких передовых хозяйств, как совхоз «Фергана» (3,51 т/га) и колхоз «Ленинград» (3,62 т/га) Сырдарьинской области, совхоз Кичанова (3,34 т/га) Джизакской области и совхоз «Пахтаарал» (3,4 т/га). Повышение урожайности хлопчатника до уровня этих хозяйств позволило бы увеличить производство хлопка-сырца на 55—70%. Среди сдерживающих факторов дальнейшего роста урожайности хлопка-

сырца особую значимость представляет засоленность почв.

Процессы вторичного засоления проявляются с первых лет освоения и орошения Голодной степи из-за неблагоприятных гидрогеологических и почвенно-мелиоративных условий. В связи с этим ведутся поиски эффективных методов борьбы с засолением почв. Учитывая сложности почвенно-мелиоративных, гидрогеолого-геохимических и биоклиматических особенностей территории, был разработан комплекс мелиоративных мероприятий, направленный на рассоление и предупреждение вторичного засоления почв. Ведущая роль в нем принадлежит промывкам на фоне системы дренажа, нормированному водопользованию, соблюдению научно обоснованных режимов орошения и техники полива.

В связи с различиями почвенно-мелиоративных условий Голодной степи необходим дифференцированный подход к проведению мелиоративных мероприятий. В староорошаемой зоне, отличающейся сложными гидрогеологическими условиями, до сего времени слабо разработаны приемы регулирования водно-солевого режима почв в эксплуатационный и мелиоративный периоды. Еще недостаточно эффективно работает вертикальный дренаж и при обосновании его режима не везде принимаются во внимание обеспеченность естественного стока и погодные условия конкретного года. Кроме того, вертикальный дренаж по площади создает неодинаковую дренированность. В зависимости от скорости нисходящего движения влаги и снижения уровня грунтовых вод необходимо выделять зоны интенсивного и умеренного влияния дренажа. Для каждой из этих зон требуется установить параметры орошения и промывок. Вместе с тем следует скорректировать режим работы вертикального дренажа.

Для зоны нового освоения (со слоистым сложением почв) в связи с орошением на фоне глубокого закрытого горизонтального дренажа прогноз мелиоративной обстановки не везде оказался оправданным, несмотря на наличие совершенных оросительных систем с высоким КПД. Поэтому в связи с подъемом уровня минерализованных грунтовых вод и засолением возникает необходимость в совершенствовании методов оптимизации солевых процессов и водного режима почв с учетом особенностей почвогрунтов и интенсивности дренирования территории.

В пределах новой зоны орошения на значительной площади также развиты сильнозасоленные почвы с неблагоприятными водно-физическими свойствами, так называемые трудномелиорируемые. Рассоление и освоение их сопряжено с большими затратами оросительной воды и труда. Капитальные промывки таких почв на фоне закрытого дренажа не обеспечивают требуемую скорость фильтрации воды и своевременный ее отвод за пределы мелиорируемой площади. Разработка рациональных приемов освоения трудномелиорируемых земель с применением агромелиоративных мероприятий, структурообразователей и возделыванием культур-освоителей позволит повысить плодородие почв и эффективность их использования.

Глава I

ФАКТОРЫ ФОРМИРОВАНИЯ И РЕГУЛИРОВАНИЯ ВОДНО-СОЛЕВОГО РЕЖИМА ПОЧВ

ПРИРОДНЫЕ УСЛОВИЯ ГОЛОДНОЙ СТЕПИ

Голодная степь представляет собой обширную предгорную равнину площадью около 1 млн га, расположенную на левобережье р. Сырдарьи. Вся пригодная для орошения площадь Голодной степи составляет свыше 800 тыс. га. Из них около 265 тыс. га орошается системой Кировского магистрального канала (КМК) и считается зоной старого освоения и свыше 300 тыс. га — системой Южного Голодностепского канала (ЮГК) и именуется новой зоной освоения Голодной степи. Границей между зонами служит Центральный Голодностепский коллектор (рис. 1). Источником орошения является р. Сырдарья, из которой берут воду магистральный канал им. Кирова (расход 210 м³/с) и Южный Голодностепский канал (300 м³/с).

Климат Голодной степи характеризуется большими термическими ресурсами при значительных амплитудах температур воздуха как в суточном, так и годовом цикле. Резко выражена периодичность в выпадении осадков с приуроченностью их к зимне-весеннему сезону (Панков, 1962). Среднегодовая температура воздуха повышается от 12,5 °С в северо-западной части до 15,1 °С — в южной. Продолжительность безморозного периода колеблется от 170—190 дней на севере и до 230—250 — на юге. Сумма положительных температур за безморозный период по районам изменяется в следующих пределах: на севере и северо-западе — 4000—4100 °С, в средней части — 4300—4400 и на юге — 4600—5000 °С. С увеличением суммы температур возрастает потребность растений в поливной воде, что необходимо учитывать при орошении.

Территория Голодной степи согласно агроклиматическому районированию Л. Н. Бабушкина (1960) делится на три группы. Пахтааральская группа характеризуется суммой положительных температур за период вегетации от 4050 до 4250 °С. При этом осенний период недостаточно обеспечен термическими ресурсами (200—400°). Для Мирзачульской группы сумма температур со-

ставляет 4300—4600°. Осенний период среднеобеспечен термическими ресурсами (сумма эффективных температур 400—700°). Урсатьевская группа имеет общую сумму положительных температур за вегетационный период — 4900—5080°. Сумма эффективных температур за осенний период составляет 700—1000°.

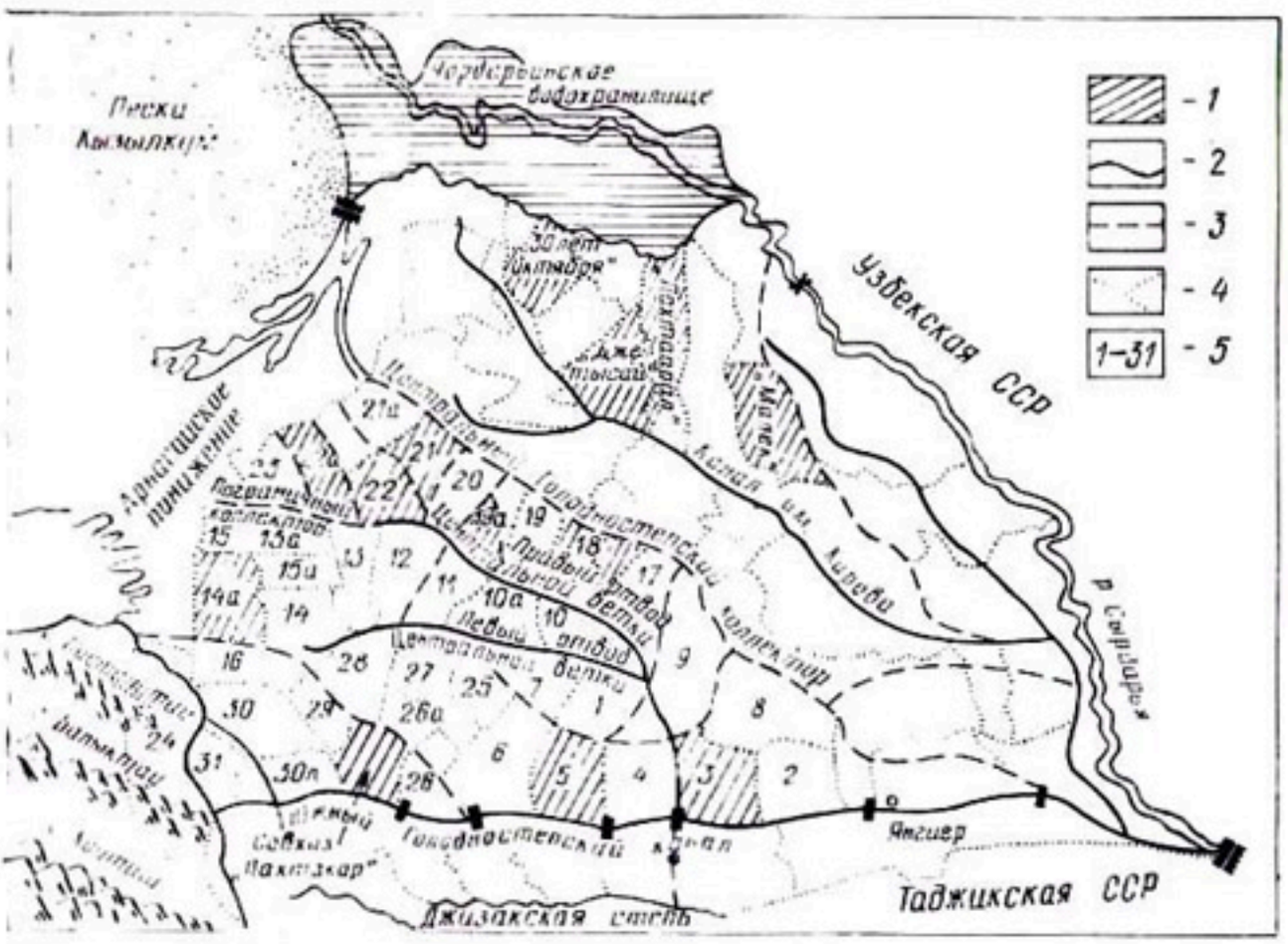


Рис. 1. Схематическая карта развития орошения в Голодной степи:
1 — экспериментальные участки; *2* — магистральные каналы; *3* — коллекторы; *4* — граница хозяйства; *5* — 1—31 — номера совхозов

Величина радиационного баланса (R, ккал/см^2) устанавливалась по связи его месячных величин с суммой активных температур (Σt)

$$R = 0{,}01\Sigma t - 0{,}1 \quad (r = 0{,}77 \pm 0{,}03). \qquad (1)$$

Значения радиационного баланса за апрель—сентябрь колебались от 39 ккал/см^2 в северных и северо-восточных районах до 44 ккал/см^2 на юге (Урсатьевская), где абсолютные показатели больше во все месяцы. Годовая сумма осадков колеблется от 210 до 400 мм. Отчетливо прослеживается увеличение годового количества осадков с севера на юг (Рафиков, 1976).

На процессы передвижения солей и влаги в почве оказывает влияние влажность воздуха. Для южных районов относительная влажность воздуха в среднем за год составляет 51—56%. По мере продвижения на северо-восток она возрастает до 61—64%. Существенные различия в относительной влажности воздуха отме-

чаются под влиянием орошения и изменения гидрогеологических условий. Так, относительная влажность воздуха в летние дни на неорошаемой территории снижается до 20%, на орошаемых землях повышается до 30%.

Годовая испаряемость колеблется от 1120—1280 мм в северо-восточных и центральных районах (Пахтаарал, Акалтын, Дустлик) до 1590—1690 мм на юге (ст. Ломакино, Урсатьевская). За вегетационный период (апрель—сентябрь) она составляет 910—1330 мм, или 79—82% от годовой нормы.

Данные по естественной влагообеспеченности указывают на острую засушливость рассматриваемой территории. Значения радиационного индекса сухости (Будыко, 1956) за период вегетации изменялись от 10,3 (Чардара) до 5,8 (Урсатьевская). Гидротермический коэффициент (Селянинов, 1958) составляет 0,22—0,48. Годовой показатель влагообеспеченности, по Н. Н. Иванову (1948), равен 0,12—0,22, а за апрель—сентябрь — 0,02—0,10, т. е. территория относится к ландшафтной зоне полупустынь. Коэффициент аридности (по Эмбергеру) изменяется по территории от 19 до 39. По этому показателю северо-восточные и центральные районы относятся к полуаридной области, а южные — к пустынной.

В целом климат Голодной степи характеризуется малой облачностью, обилием солнечного света, наличием достаточных термических ресурсов. Все это создает наиболее благоприятные условия для произрастания хлопчатника и других культур хлопкового севооборота.

По генезису и литологии территория неоднородна. В. А. Ковда (1948) выделил в Голодной степи предгорья Туркестанского хребта и Голодностепскую равнину с современными террасами р. Сырдарьи. Голодностепская межгорная котловина, по Б. В. Федорову (1953), делится на две части: аллювиальную и пролювиальную. Аллювиальная равнина характеризуется мощной дренирующей подстилкой из песчано-галечниковых и песчаных отложений с пресными грунтовыми водами. Пролювиальная равнина лишь в южной части имеет слаборазвитые дренирующие линзы, в основном она сложена на большую глубину суглинками и глинами. Аллювиально-пролювиальная часть третьей террасы и древнеаллювиальная равнина сложены суглинками с прослойками супесей и песка на глубину 20—40 м, ниже которых залегают пески и галечники, обладающие высокой водопроводящей способностью. Именно такая литология способствовала широкому внедрению вертикального дренажа в северо-восточной части степи. Южная часть равнины имеет слоистое сложение из песка и глины, а в центральной части еще включаются прослойки леса (Гафуров, 1968). Наиболее изменяющееся слоистое сложение характеризует современную пойму р. Сырдарьи.

Геоморфологическое строение территории, по М. А. Панкову (1974), включает следующие основные типы рельефа: горная область, предгорная область, плоская пролювиальная равнина (Го-

лодностепское плато), руслообразные понижения (Джетысай, Сардоба, Карай, Арнасай) и аллювиальная долина р. Сырдарьи. Особенности геолого-литологического и геоморфологического строения определили формирование гидрологического режима и условия залегания грунтовых вод. Выделяют четыре области: первичного и вторичного образования, транзита, или рассеивания, равновесия стока и испарения, очагового выклинивания грунтовых вод (Ходжибаев, 1975).

М. М. Крылов (1957) в пределах Голодной степи выделил три гидрогеологических района: горизонтального подземного стока, преобладающего застоя грунтовых вод и подпора подземного потока. В соответствии с почвенно-климатическим районированием, принятым в институте Средазгипроводхлопок (Шредер и др., 1970), с учетом условий питания и оттока грунтовых вод выделяются три области: погружения, выклинивания и рассеивания.

Изучению режима грунтовых вод посвящены работы многих ученых (Коньков, Петров, 1929; Кенесарин, 1959; Кац, 1963, 1976 и др.). Большинство авторов считают, что основным фактором формирования режима и баланса грунтовых вод до орошения являлись подземный приток и испарение. В связи с этим в течение длительного геологического периода происходило накопление солей как в грунтовых водах, так и в верхней толще почвогрунтов.

В условиях орошения доминирующим источником питания грунтовых вод становится инфильтрация оросительной воды. По данным Н. Н. Ходжибаева, М. С. Алимова (1966), на долю фильтрационных вод из каналов и инфильтрацию воды на орошаемых полях приходится 76,6% от общих приходных статей. В расходной части главнейшую роль играют физическое испарение и транспирация (72,4%) и сток по коллекторно-дренажной сети (26%). Выклинивание в Сырдарью и подземный отток исчисляются небольшими размерами.

Почвенный покров подробно описан в работах А. Н. Розанова (1948, 1951). Зональными почвами являются светлые и типичные сероземы, развитые на лёссе и лёссовидных отложениях. Кроме зональных распространены почвы полугидроморфного и гидроморфного ряда: пойменно-аллювиальные, лугово-аллювиальные, болотно-луговые, болотные, сероземно-луговые, солончаки.

Преобладающим типом почв являются светлые сероземы, развитые на лессах и лессовидных суглинках. Различная степень их рассоления, отраженная в морфологии и физико-химических свойствах, создает пестроту почвенного покрова и минерализации грунтовых вод и является следствием сложных нисходящих и восходящих почвенных потоков (Егоров, Минашина, 1976). Светлые сероземы обладают высокой биологической активностью, благодаря которой происходит быстрая минерализация органических веществ, накопленных в течение весны (Рыжов, 1952). В связи с этим содержание гумуса в них незначительно (не более 1,3—2,2%), азота — от 0,06 до 0,08%. Подвижные формы фосфо-

ра колеблются от 10,2 до 33,1 мг/кг и калия — от 180 до 325 мг/кг почвы. Характерной особенностью светлых сероземов являются высокое содержание карбонатов (в верхних горизонтах до 6—7%, а книзу — до 10—11%), насыщенность основаниями, слабощелочная реакция почвенного раствора, относительно низкая величина емкости поглощения (9—11 мг·экв). В механическом составе доминируют крупнопылеватые средние суглинки, обладающие исключительно высокой степенью микроструктурности (Беспалов, 1957).

В зоне выклинивания минерализованных грунтовых вод (подгорная зона), расположенной вдоль Южного Голодностепского канала, почвы отличаются наибольшей степенью засоления и наличием на глубине 40—160 см плотного гипсированного слоя с содержанием гипса более 20—30%. При орошении в почвообразовательном процессе произошли значительные изменения, которые в сильной степени сказались на вторичном засолении. Изменились также некоторые водно-физические и химические свойства почв. В староорошаемой зоне на 60 лет освоения объемная масса в слое 0—50 см увеличилась на 16,1% (с 1,18 до 1,37 г/см^3), в слое 50—100 см — на 5,9%. При этом объемная масса почвы по зонам изменяется от 1,17 до 1,55 г/см^3, а в гипсированных прослойках она доходит до 1,70 г/см^3.

После первого года освоения плотность почвы увеличилась примерно на 8,5% по сравнению с целиной и на пятый год — на 13,7%. В слое 50—100 см плотность почвы в меньшей степени изменялась во времени и находилась в пределах 1,30—1.60 г/см^3. Через 30—40 лет орошения почва приобретает постоянную плотность. Порозность почвы по мере увеличения продолжительности орошения уменьшается, особенно заметно это в верхнем слое 0—50 см. Влияние орошения и освоения на гипсоносных почвах проявляется по-иному. В отличие от других почв возделывание на них хлопчатника и культур хлопкового севооборота приводит к постепенному разрушению гипсового горизонта, к некоторому снижению плотности почвы и увеличению скорости фильтрации.

Максимальная гигроскопичность коррелирует со степенью засоления и механическим составом почвы и изменяется от 3.8 до 5,9%. По мере повышения засоленности почв она увеличивалась примерно в 1,5 раза. По данным М. У. Умарова (1974), влажность устойчивого завядания изменяется от 3 до 9% в зависимости от механического состава и степени засоления почв. Наименьшая влагоемкость, по даным С. Н. Рыжова (1952), составляет в глинистых почвогрунтах — 25%, тяжелосуглинистых — 22, среднесуглинистых — 19, легкосуглинистых — 16 и супесчаных — 13%. Согласно нашим определениям в почвах Голодной степи она колеблется от 18 до 24%.

Коэффициент фильтрации староорошаемых почв значительно меньше, чем на целине (Панков, 1974; Умаров, 1974). Орошение и освоение существенно снижают водопроницаемость почв (с 1,3—1,5 до 0,4—0,5 м/сут). Гипсоносные почвы, расположенные в

зоне Южного Голодностепского канала, характеризуются особенно неблагоприятными водно-физическими свойствами. Водопроницаемость их составляет 0,04—0,26 м/сут, а гипсированных прослоек практически равна нулю. С повышением степени засоления почв их фильтрационная способность при поливах, особенно минерализованной водой, заметно снижается, что необходимо учитывать при установлении элементов техники орошения.

На скорость впитывания воды в почву определенное влияние оказывает и минерализация воды. При минерализации воды от 3,5 до 15 г/л она снижается на 15—20%. Расчет можно вести по формуле

$$K = K_0 - 0{,}006 \cdot C \quad (r = 0{,}84 \pm 0{,}5), \qquad (2)$$

где K — коэффициент фильтрации при поливе минерализованной водой, м/сут; K_0 — коэффициент фильтрации при поливе речной водой, м/сут; C — минерализация поливной воды, г/л.

Таким образом, природные условия Голодной степи неоднородные, что требует дифференциации системы мелиоративных мероприятий по созданию и поддержанию благоприятного водного и солевого режимов орошаемых почв. Здесь схематично следует выделить три зоны (рис. 2), четко различающиеся по гидрогеологическим и почвенно-мелиоративным условиям: зону орошаемых почв, развитых на однородных лессах и лессовых отло-

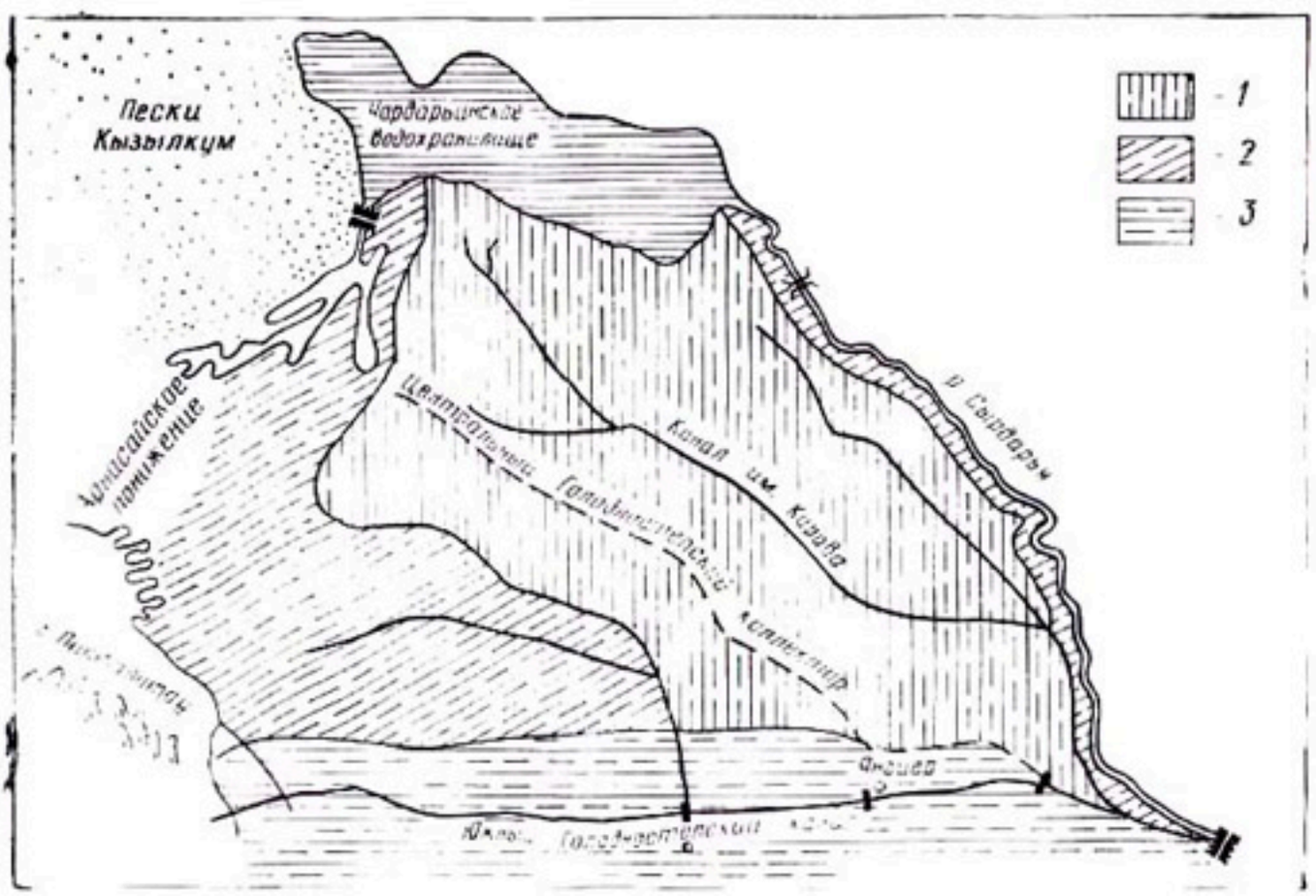


Рис. 2. Схема почвенно-мелиоративных зон Голодной степи:

1 — зона орошаемых почв, развитых на однородных лессах и лессовидных суглинках; *2* — зона орошаемых почв, развитых на слоистых отложениях (аллювиальных и пролювиальных); *3* — зона сильнозасоленных гипсоносных почв

жениях (зона I), зону орошаемых почв, развитых на слоистых отложениях (зона II), и зону с сильнозасоленными гипсоносными почвами (зона III).

СОВРЕМЕННОЕ МЕЛИОРАТИВНОЕ СОСТОЯНИЕ ОРОШАЕМЫХ ЗЕМЕЛЬ

Орошение земель привело к существенным изменениям водного и солевого баланса грунтовых вод и почвогрунтов в зоне аэрации. Как указывает М. А. Панков (1962), орошение Голодной степи нарушило естественный процесс движения воды и солей, вызвав общее повышение их запасов, подъем грунтовых вод выше критического уровня и перераспределение солевых масс. При этом ухудшились водно-солевой баланс и мелиоративное состояние земель.

В староорошаемой зоне в период от начала освоения земель (1872 г.) до 30-х годов отмечалось катастрофическое повышение уровня залегания и степени минерализации грунтовых вод в результате орошения очень высокими нормами (до 30—40 тыс. м³/га) в бездренажных условиях (Кац, 1976). Это привело к резкому усилению процессов вторичного засоления орошаемых почв. В середине 30-х годов было существенно улучшено водопользование, поливы затоплением заменены на бороздковые, снижены оросительные нормы, осуществлено устройство лесных полос вдоль оросительных каналов и т. д., что обеспечило некоторое снижение грунтовых вод. Однако проведенные работы вследствие недостаточной удельной протяженности дренажа не дали возможности предотвратить процессы засоления почв. Особенно резко возросли площади с близкими грунтовыми водами в 40-е годы, когда площади поливных земель под рис заметно увеличились (Панков, 1974). Наличие слаборазветвленной коллекторно-дренажной сети не обеспечивало снижения грунтовых вод и почти на всей орошаемой территории глубина их залегания была меньше критической, что и обусловило усиление процессов вторичного засоления почв. Повышение минерализации оросительной воды, вызванное сбросом минерализованных коллекторно-дренажных вод в Сырдарью, также отрицательно повлияло на солевой баланс почвогрунтов.

В послевоенные годы для повышения дренированности территории строилась более глубокая и разветвленная в основном открытая дренажная сеть. Однако в большинстве районов со слабой дренированностью и бесточностью, особенно на площадях напорного питания, глубина грунтовых вод оставалась выше критической, что препятствовало повышению урожайности сельскохозяйственных культур.

Начало третьего периода в изменении многолетнего режима грунтовых вод относится к середине 60-х годов, когда строитель-

ство велось на новой технической основе. В это время приступили к широкомасштабному внедрению закрытого горизонтального и вертикального дренажа на всей территории Голодной степи (Решеткина ид р., 1966; Хамраев и др., 1969; Духовный. 1973; Кац, 1976). По состоянию на начало 1978 г. в новой зоне орошения дренированная площадь составила 246,2 тыс. га, а общее количество дренажа достигло 15,6 тыс. км (Духовный и др., 1979). Вертикальный дренаж за сравнительно небольшой период работы обеспечил преобладание выноса солей над их поступлением с оросительной водой. В Пахтааральском районе Чимкентской области за 1964—1976 гг. построено 262 скважины на общей площади 58,2 тыс. га. Внедрение вертикального дренажа обеспечило существенное снижение уровня грунтовых вод (табл. 1). Улучшение мелиоративного состояния земель обусловило повышение урожайности хлопка за 10 лет (1964—1973 гг.) в старой зоне с 2.0 до 2,48 т/га.

Таблица 1

Распределение площади по глубине залегания грунтовых вод в Пахтааральском районе Чимкентской области

Год	Обследованная площадь, тыс. га	Уровень грунтовых вод, см		Площади с глубиной залегания грунтовых вод							
				до 1 м		1—2 м		2—3 м		более 3 м	
		за год	за вегетацию	тыс. га	%	тыс. га	%	тыс. га	%	тыс. га	%
1971	49,2	256	247	3,5	7	23,3	48	19,8	40	2,6	5
				—	—	4,5	9	28,9	59	15,8	32
1975	47,8	264	257	3,0	6	27,1	57	13,6	29	3,7	8
				0,3	1	1,6	3	76	16	37,9	80
1980	47,3	213	213	3,3	7	30,9	66	11,3	23	1,8	4
				0,1	—	7,5	16	21,9	46	17,9	38
1983	42,4	252	233	2,3	5	28,8	68	9,3	22	2,0	5
				—	—	3,4	8	16,2	38	22,8	54

Примечание. Числитель — данные на 1 апреля, знаменатель — на 1 октября.

В зоне выклинивания грунтовых вод (совхозы им. Узакова, Гагарина и др.) с высокой засоленностью грунтовых вод и почвогрунтов при орошении складывается особенно неблагоприятный солевой баланс. Освоение этих земель без достаточного дренажа привело к быстрому подъему грунтовых вод и вторичному засолению почв. Положительные результаты в регулировании режи-

ма грунтовых вод новой зоны освоения Голодной степи достигнуты на основе выбора и применения типов дренажа, соответствующих геологическому строению и гидрогеологическим условиям. Получил распространение закрытый глубокий (3—3,5 м) горизонтальный дренаж, протяженность которого ежегодно увеличивалась. В целинной части Голодной степи к 1972 г. дренаж построен на 91% земель и удельная протяженность коллекторно-дренажной сети к 1978 г. доведена до 63,5 пог. м/га. Он стал основным фактором, определяющим динамику грунтовых вод и солевых процессов в этом районе.

Создание и поддержание оптимального водного и солевого режимов почвы на орошаемых землях достигается лишь при осуществлении комплекса мелиоративных мероприятий, важнейшими из которых являются дренаж, промывка, дифференцированный режим и техника орошения сельскохозяйственных культур (Ковда, 1971; Аверьянов, 1978 и др.). Д. М. Кац (1963) установил, что благоприятный водно-солевой режим почв возможен при устойчиво глубоком (свыше 5 м) залегании грунтовых вод, а также при неглубоком (примерно 1,5—2 м) залегании устойчиво пресных нещелочных грунтовых вод. Накопление солей в зоне аэрации наиболее интенсивно происходит при повышении уровня залегания грунтовых вод выше критической глубины (Егоров, Минашина, 1968; Баер, Лютаев, 1973 и др.). По данным С. Ф. Аверьянова (1965), уровень грунтовых вод является важнейшим показателем водного и солевого режимов почвы.

В зависимости от климатических и геоморфологических условий, капиллярных свойств почвогрунтов, степени и характера минерализации грунтовых вод, засоленности подпочвы и других факторов была обоснована критическая глубина залегания грунтовых вод. А. Н. Костяков (1951) считает, что для лессовых почв критическая глубина грунтовых вод варьирует от 1,5 до 3,5 м в зависимости от ее минерализации. Для старой зоны орошения Голодной степи рекомендуют принимать ее в пределах 1,6—2,8 м (Ковда, 1948 б; Кац, 1957).

Следует отметить, что поддерживать уровень грунтовых вод на требуемой глубине, при которой не происходит засоления почвы, удается в редких случаях. В активном слое почвы в период вегетации растений обычно происходит накопление солей и их удаление возможно только при проведении ежегодных осенне-зимних промывок.

Наши наблюдения, выполненные на центральном массиве Голодной степи, показали, что подъем грунтовых вод в первые два года составил 2—3 м, а в последующие два — 0,7—1,5 м, и дренаж начинает действовать на 4—5-й годы после распашки целины. Если до освоения и орошения грунтовые воды залегали на глубине 10—11 м, то спустя 4—5 лет после начала освоения они поднялись на глубину 2,5—3,5 м, т. е. достигли критического уровня (табл. 2).

Таблица 2

Изменение уровня грунтовых вод в среднем за период вегетации (апрель-сентябрь) в зависимости от года освоения, см

Пункт наблюдений	Год освоения						
	целина	1-й	2-й	3-й	4-й	5-й	6-й
Совхоз «Ташкент»	1268	967	797	599	424	297	243
Совхоз «Советская Россия»	1207	893	628	470	365	306	264
Совхоз им. Г. К. Жукова	996	737	535	359	262	274	277

Результаты полученных нами данных по темпу подъема грунтовых вод в первые 5 лет при исходной их глубине 10—13 м аппроксимируются зависимостью вида

$$h = 0{,}25 + 2{,}94 \cdot t^{0{,}54}, \qquad (3)$$

где h — интенсивность подъема грунтовых вод, м; t — годы освоения целины.

Подъем грунтовых вод, вызванный орошением, в течение первых лет на незасоленных почвах значительно снижает их минерализацию по сравнению с исходной за счет разбавления оросительной водой. После первых лет орошения минерализация и состав грунтовых вод на территории совхоза «Пахтаарал» подверглись значительным изменениям. При слабой дренированности территории, которая имела место в 1950—1960 гг., вблизи оросителей и на слабозасоленных участках минерализация грунтовых вод составляла 3—5 г/л по плотному остатку и 0,3—1.0 г/л по хлору, на всей остальной территории — 5—15 г/л. После ввода в эксплуатацию вертикального дренажа и осуществления капитальной промывки минерализация грунтовых вод на всей территории совхоза значительно уменьшилась — до 2—8 г/л по плотному остатку и 0,2—0,9 г/л по хлору, повышаясь от весны к осени. Тип засоления стал преимущественно сульфатный вследствие уменьшения содержания хлоридов.

На центральном орошаемом массиве новой зоны освоения, где грунтовые воды залегали глубоко, их исходная минерализация составляла 18,6—24,3 г/л, в том числе токсичных солей — 11,9—15,3 г/л. С увеличением периода освоения и орошения степень минерализации грунтовых вод постепенно понижалась за счет опреснения верхнего слоя грунтовых вод. За первые пять лет освоения степень минерализации их уменьшилась в 2.5 раза. Сумма токсичных солей и хлор-иона при этом снизилась в 2,4 раза. На 6-й год освоения общая минерализация грунтовых вод в среднем составила 7,39 г/л, в том числе сумма токсичных солей 4,18 г/л (табл. 3).

Таблица 3

Минерализация грунтовых вод в новой зоне в зависимости от года освоения (среднее по совхозам «Ташкент», «Советская Россия», им. Г. К. Жукова)

Показатель, г/л	Год освоения						
	целина	1-й	2-й	3-й	4-й	5-й	6-й
Плотный остаток	21,04	16.17	12,72	10,62	9,92	8,46	7,39
Токсичные соли	12,63	10,22	8,06	6,59	6,16	5,30	4,18
Хлор-ион	4.49	3,50	2,72	2,37	2,05	1,83	1,54

От интенсивности дренирования, уровня залегания грунтовых вод и степени их минерализации зависит водно-солевой режим почв, изменяющийся как в сезонном, так и многолетнем цикле. Наиболее благоприятный водно-солевой режим орошаемых почв складывается в условиях, при которых капиллярные соленосные токи не должны достигать активного слоя почвы и вызывать накопление солей, не превышающих допустимые пределы.

ВОДНЫЙ РЕЖИМ ОРОШАЕМЫХ ПОЧВ

Водный режим почвы складывается различно в зависимости от климатических условий, длительности освоения земель, уровня грунтовых вод и степени их минерализации, поливных и оросительных норм, засоленности почвенного профиля, а также от биологических особенностей растений. Исследования динамики влажности почвы на староорошаемых землях Голодной степи показали, что влажность корнеобитаемого слоя почвы в начале вегетации на фоне влагозарядково-промывных поливов не опускается ниже 17% от массы, или 80% НВ. Причем при глубине грунтовых вод 1,0 м в этом горизонте она в течение вегетации поддерживается выше или на уровне наименьшей влагоемкости. При понижении грунтовых вод с 1 до 2 м влажность метрового слоя почвы под хлопчатником в конце вегетационного периода снижается с 22—25 до 16—21% от массы (до 75—85% НВ). Фактически при неглубоком (1,5—2,5 м) уровне залегания грунтовых вод иссушению подвергается лишь верхний (0—50 см) слой почвы, а в нижележащих горизонтах влажность поддерживается на более высоком уровне даже при отсутствии вегетационных поливов. При такой глубине расход грунтовых вод хлопковым полем в значительной мере компенсирует величину физического испарения, что связано со специфическими особенностями лессовых грунтов однородного сложения, обладающих высокой водоподъемной способностью. В связи с этим после зимних промывок хлопчатник не нуждается в вегетационных поливах до фазы массового цве-

тения. При неглубоком (1,5—2,5 м) уровне грунтовых вод запас влаги в почве снижается до нижнего предела оптимальной влажности только в начале июля. Возникающий при этом дефицит влаги в метровом слое почвы не превышает 600 м³/га, что обусловливает эффективность орошения способом дождевания.

Основной запас влаги в зоне над грунтовыми водами создается во вневегетационный период, а дождевание служит для периодического возобновления запасов влаги в верхнем слое почвы в период вегетации хлопчатника. При одинаковой глубине грунтовых вод влажность почвы выше на участках с более высокой минерализацией грунтовых вод и степенью засоления почвы. С увеличением солей в грунтовых водах и почвах в 1,2—1,6 раза (с 3—3,5 до 5—5,8 г/л) при одной и той же глубине грунтовых вод (2—4 м) влажность в метровом слое повышалась на 0,3—1,3% от массы. Люцерна иссушает почву значительно сильнее, чем хлопчатник, как в сухие, так и во влажные годы.

Иначе представлена динамика влажности почвы в зоне нового орошения со слоистым сложением почвогрунтов. Здесь верхний слой до 40—70 см представлен легкими или средними суглинками, которые подстилаются тяжелыми суглинками мощностью 50—150 см. Нижние слои 140—200 см сложены суглинками или супесями, подстилаемыми песком на глубине 200—350 см. На глубине 60—160 см отмечаются прослойки с большим содержанием гипса. В таких условиях подток влаги в корнеобитаемый слой от грунтовых вод при глубине их залегания более 2 м очень незначительный. Поэтому влажность активного слоя зависит от поливов и выпадающих осадков.

Существенные изменения в водном режиме почвы происходят в первые годы орошения. Так, исследования, проведенные на новоорошаемых землях (совхозы «Советская Россия», «Узбекистан», им. Рокоссовского), показали, что весной на целине влажность в пахотном горизонте составила 6%, повышаясь с глубиной на 1,3%. Иссушение в летний период приводило к значительному понижению влажности, особенно в верхней части профиля — до 2—3% (табл. 4). По данным табл. 4, в первые годы освоения происходит существенное повышение влажности почвы вследствие просачивания и насыщения ее влагой.

Характер распределения влаги практически одинаков — постепенное повышение влажности с глубиной. При этом влажность в осенний период уменьшается на 2,5—3% по сравнению с весной, хотя зависимость распределения остается такой же. С подъемом грунтовых вод до 3,5 м к 4-му году освоения влажность на глубине 60—200 см была одинаковой и равнялась 18—19% от массы, что соответствует НВ этих почв. Наибольшее иссушение почвы происходит только в пахотном горизонте (в начале вегетации 17—18,8%, к осени 10—15% от массы).

Повышение влажности почв по мере удаления от 1-го года освоения влечет за собой и увеличение общего запаса влаги. Если весной на целинном участке в слое 0—50 см он был равен 41,5 мм

Таблица 4

Изменение влажности почвы за вегетационный период

Глубина, см	Год освоения	Весна		Осень		Снижение влажности	
		% от массы	мм	% от массы	мм	% от массы	мм
0—50	Целина	6,0	41,5	2,8	19,2	3,2	22,3
50—100		7,1	47,2	4,0	26,6	3,1	20,7
0—50	1-й	10,5	72,1	7,8	53,8	2,7	18,3
50—100		12,9	93,3	9,6	69,5	3,3	23,8
0—50	2-й	12,1	82,3	9,0	61,1	3,1	21,2
50—100		13,0	97,3	10,5	78,5	2,5	18,8
0—50	3-й	15,5	105,1	9,5	65,5	6,0	39,6
50—100		16,1	127,5	11,1	84,4	5,0	43,1
0—50	4-й	17,9	121,5	12,1	83,0	5,7	38,5
50—100		18,6	146,3	13,8	108,4	4,8	37,9

и в слое 0—100 мм — 88,7 мм, то в 1-й и 2-й годы освоения произошло увеличение в 2 раза, в 3-й — в 2,66 и в 4-й — в 3 раза. За вегетационный период большее иссушение почв происходит при снижении уровня предполивной влажности и уменьшении числа поливов (табл. 5).

Таблица 5

Иссушение метрового слоя почвы под хлопчатником за вегетационный период (среднее за 1973—1976 гг., совхоз «Ташкент»)

Предполивная влажность почвы, % НВ	Схема полива	Оросительная норма, м³/га	Иссушение почвы	
			% от массы	мм
70—70	2—2—0	4400	4,8	67,6
70—80	2—4—0	5400	4,2	46,6
60—70	1—2—0	3650	5,3	69,3
60—60	1—1—0	2900	5,9	85,4

При глубине залегания грунтовых вод 2,5—3,0 м в совхозе «Ташкент» влагозапасы в метровом слое снижались на 46,6—85,4 мм.

Запас влаги в почве после полива зависит от поливной нормы и исходной влажности почвы. На влажность почвы оказывает влияние также и минерализация поливной воды. После полива минерализованной водой влажность почвы была на 6—8% больше, чем речной водой.

К началу сева хлопчатника решающее значение имеет запас влаги в пахотном слое почвы, позволяющий получить всходы по естественной влаге без подпитывающего полива. Наши определения показали, что в зоне старого орошения благодаря повсемест-

ному проведению осенне-зимних промывных поливов и выпадению осадков запас влаги в слое 0—10 см составляет около 22 мм, а в слое 0—30 см — 70 мм, что достаточно для нормальных всходов.

Для условий совхоза «Пахтаарал» нами рассчитано уравнение связи запасов продуктивной влаги в слое 0—30 см весной с количеством атмосферных осадков:

$$W = 0{,}353 \cdot P + 3{,}65 \quad (r = 0{,}78 \pm 0{,}08), \qquad (4)$$

где W — запасы продуктивной влаги в слое 0—30 см на начало апреля, мм; P — атмосферные осадки, выпавшие за октябрь—март, мм.

В зоне нового орошения продуктивные запасы влаги весной в пахотном слое составляют 20—40 мм, а осенью они почти отсутствуют. В этих условиях запас влаги в пахотном слое весной (перед посевом) можно определить по уравнению

$$W = 0{,}135 \cdot P + 2{,}89 \quad (r = 0{,}81 \pm 0{,}07), \qquad (5)$$

где W — запасы влаги в почве на период посева хлопчатника, мм; P — осадки за октябрь—март, мм.

В зависимости от сочетания различных факторов и условий (прежде всего ирригационных) в пределах орошаемой территории Голодной степи формируются различные типы водного режима (Роде, 1963): периодически-промывной, непромывной, дес-

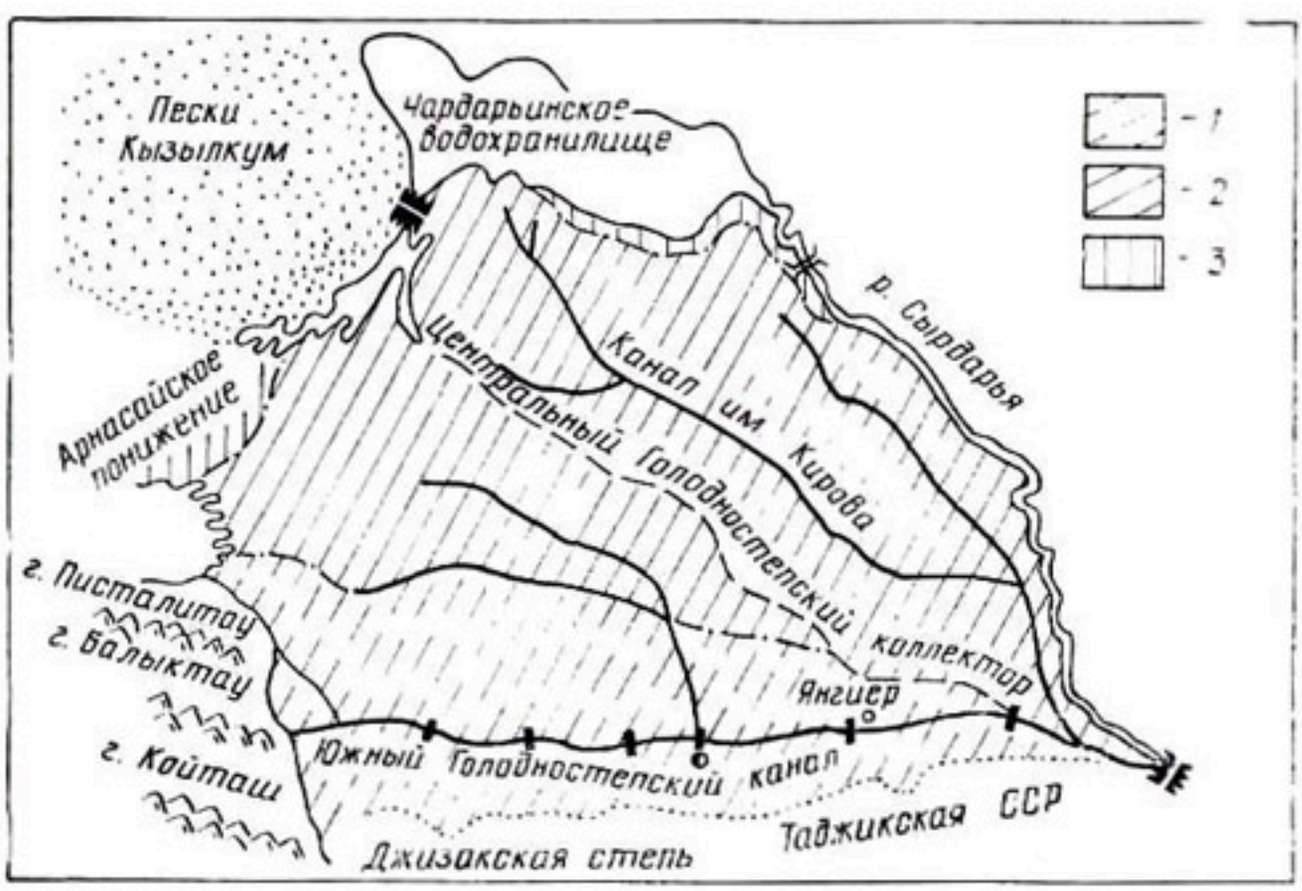


Рис. 3. Типы водного режима почв Голодной степи:

1 — непромывной; *2* — периодически-промывной в сочетании с десуктивно-выпотным; *3* — выпотной

уктивно-выпотной и выпотной (рис. 3). В староорошаемой зоне преобладающим является периодически-промывной водный режим, при котором проведением в осенне-зимний период влагозарядково-промывных поливов достигаются необходимый запас влаги в зоне аэрации и рассоление корнеобитаемого слоя почвы. В вегетационный период ведущими должны быть непромывной и десуктивно-выпотной режимы, которые обеспечиваются проведением поливов по дефициту влаги в расчетном слое почвы и почвенно-грунтовым увлажнением. Наиболее легко это достигается при орошении хлопчатника дождеванием. При бороздковом поливе равномерное увлажнение почвы поливными нормами по дефициту влаги может быть обеспечено лишь при коротких бороздах. В пойменной части преимущественное распространение получил десуктивно-выпотной тип водного режима. При близком залегании грунтовых вод происходит интенсивное их испарение не столько растениями, сколько непосредственно физически.

В новой зоне орошения в настоящее время влагозарядково-промывные поливы на большинстве площадей с незасоленными почвами не проводятся, а количества осадков за осенне-зимний период недостаточно для промачивания глубоких горизонтов почвогрунта. Следовательно, на этих почвах в невегетационный период преобладающим является непромывной тип водного режима. Вместе с тем вследствие поливов хлопчатника по удлиненным

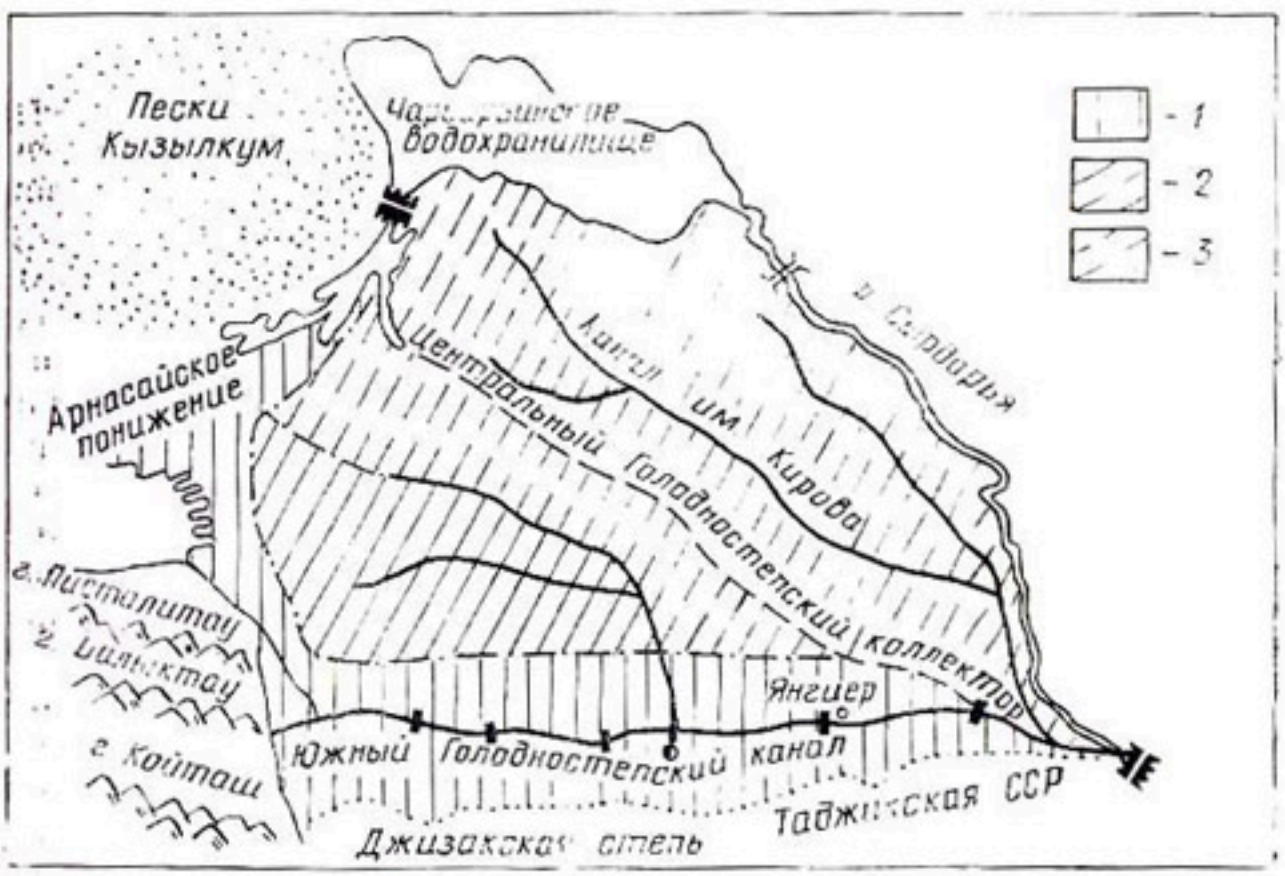


Рис. 4. Рекомендуемые типы водного режима почв Голодной степи:
1 — промывной; *2* — периодически-промывной; *3* — периодически-промывной в сочетании с десуктивно-выпотным

бороздам поливными нормами, превышающими фактический дефицит влаги в 1,5—2,0 раза, в вегетационный период формируется промывной тип водного режима, что, на наш взгляд, нерационально. Целесообразно также на новоорошаемых почвах, развитых на лессах и лессовых отложениях, применять типы водного режима, сложившиеся в староорошаемой зоне и прежде всего в совхозе «Пахтаарал» и других хлопкосеющих хозяйствах голодностепских районов Чимкентской области (рис. 4).

На новоорошаемых почвах с гипсированными прослойками преобладающим является непромывной тип водного режима как в вегетационный, так и в невегетационный период. Это обусловлено тем, что наличие на определенной глубине плотного гипсированного слоя, служащего в качестве непроницаемого экрана, препятствует поступлению как поливной, так и промывной воды в нижележащие слои. Вследствие этого не представляется возможным за короткий срок добиться рассоления корнеобитаемого слоя почвы и тем самым устранить одну из главных причин низкой урожайности сельскохозяйственных культур в этой зоне. Целесообразно в мелиоративный период на таких почвах создавать и поддерживать промывной и периодически-промывной типы водных режимов, с тем чтобы обеспечить неуклонное повышение плодородия этих почв.

СОЛЕВОЙ РЕЖИМ ОРОШАЕМЫХ ПОЧВ

Накопление солей в почве зависит от геолого-геоморфологических и гидрогеологических условий, климата, орошения и многих других факторов. При орошении процесс соленакопления наиболее интенсивно протекает при слабой дренированности территории. Солевой режим находится в прямой связи с режимом влажности почвы, так как передвижение водно-растворимых солей происходит вместе с водой. Накопление солей в почвогрунте зоны аэрации происходит в результате капиллярного поднятия влаги из засоленных грунтовых вод и последующего испарения. Только при их минерализации менее 3—2 г/л и оттоке вторичного засоления при орошении практически не происходит (Ковда, 1984). На миграцию солей оказывают большое влияние поливы, промывки, фильтрация из оросительной сети, а также испарение с поверхности почвы и транспирация растений.

Изменения солевого режима почв староорошаемой зоны можно проследить на примере орошаемых земель совхоза «Пахтаарал». В результате орошения с первых же лет на землях совхоза произошел значительный подъем минерализованных грунтовых вод. Вместе с их подъемом происходил вынос водно-растворимых солей из нижних почвенных горизонтов и повсеместное засоление верхнего корнеобитаемого слоя. Оно прогрессировало особенно в начальные годы освоения. По данным Е. Г. Петрова

(1934), из общей площади 7760 га засолилось 665 га, а в 1932 г.— до 2003 га.

В результате применения комплекса агротехнических и мелиоративных мероприятий улучшилось состояние почвенного покрова. Площади с незасоленными и слабозасоленными землями увеличились. Если в 1938 г. площадь незасоленных и слабозасоленных земель составляла 3567,5 га, или 30,2%, то в 1960 г.— 7928 га, или 66,3%.

С внедрением вертикального дренажа площади засоленных земель с 1965 по 1970 г. уменьшились. К 1970 г. из 10758 га земель лишь 60 га относилось к среднезасоленным почвам. Практически за этот период почвы были рассолены (Шуравилин, 1975). После выравнивания мелиоративного фона, когда произошло рассоление земель на фоне эффективной работы дренажа, урожайность хлопчатника на всех отделениях совхоза существенно повысилась.

Незасоленные целинные земли характеризуются невысоким содержанием плотного остатка, особенно в верхних горизонтах. Так, в почвах совхоза «Ташкент» до освоения целины содержание плотного остатка в слое 0—100 см составляло 0,059—0,185%; хлора — 0.007—0,008%; сульфат-иона — до 0.042%. После трех лет освоения плотный остаток в том же слое увеличился до 0,31%, а к концу 7-го года освоения — до 0,475%, т. е. в 2—3 раза относительно исходного количества. При этом содержание хлоридов превзошло порог токсичности. Содержание натрия также повысилось в несколько раз относительно первоначального Увеличение содержания водно-растворимых солей отмечалось не только в верхнем корнеобитаемом слое, но и в нижележащих слоях, где наблюдался максимум засоления. Сумма токсичных солей на целине в слоях 0—100 и 100—200 см составляла соответственно 0,084 и 0,098%, а после 7 лет освоения их количество увеличилось до 0.291 и 0,334% соответственно слоям. Это указывает на то, что засоление почв происходило за счет подъема минерализованных грунтовых вод.

Результаты исследований в совхозе «Пахтаарал» по динамике солевого режима почв при дождевании и бороздковом поливе показали, что на фоне влагозарядково-промывного полива содержание солей в активном слое не превышает уровня слабого засоления (рис. 5). Однако накопление солей в верхнем горизонте почвы происходило более интенсивно при дождевании. В среднем за 1970—1973 гг. весной в метровом слое почвы содержание хлор-иона составляло 0,009 и 0,008%, а плотного остатка — 0,304 и 0,286% соответственно при поливе дождеванием и по бороздам. На варианте полива дождеванием оросительной нормой 2340 м³/га коэффициент сезонного засоления характеризующий сезонный солевой режим, по глубине почвенного профиля изменялся в пределах от 1,13 до 1,49 по плотному остатку и от 1.82 до 2,44, по хлору.

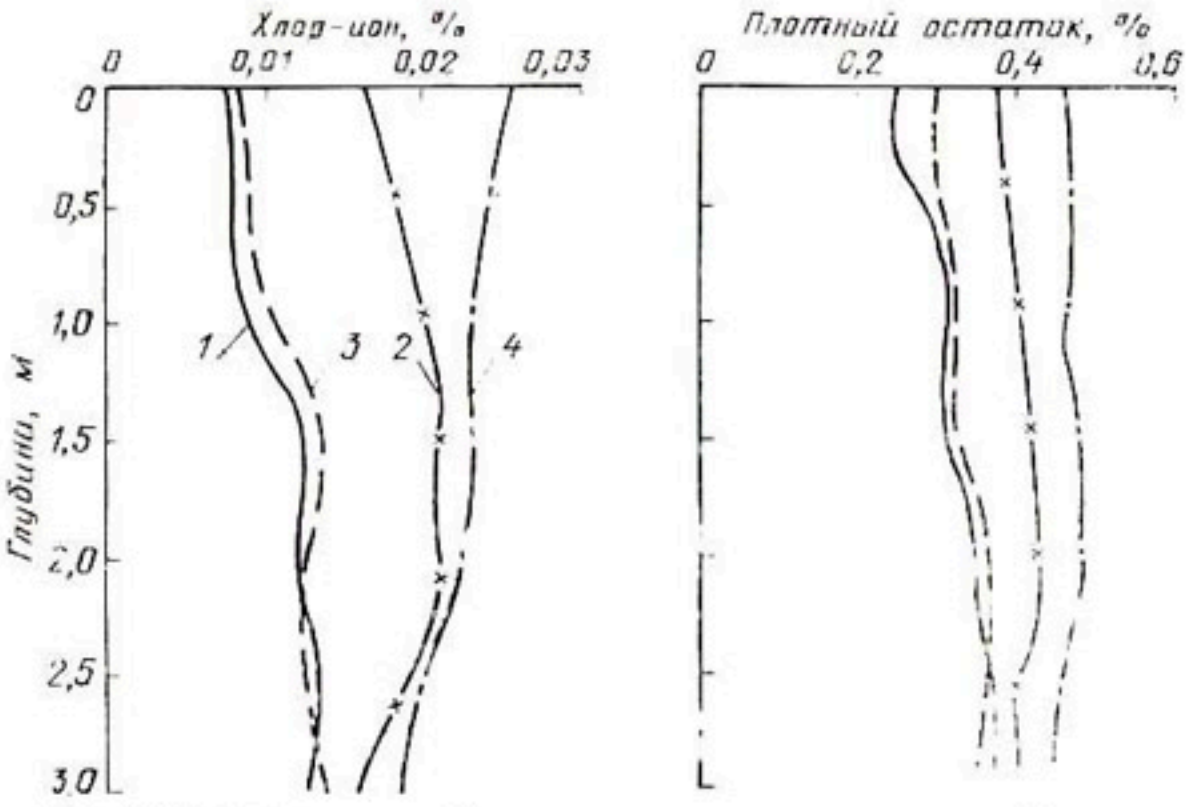


Рис. 5. Содержание солей в почве в зависимости от способа орошения (среднее за 1970—1973 гг.):

1 — весной; *2* — осенью (полив по бороздам); *3* — весной; *4* — осенью (дождевание)

При двух поливах по бороздам коэффициент сезонного засоления по горизонтам изменялся от 0,95 до 1,32 по плотному остатку и от 1,22 до 1,86 по хлору. Засоление почв, таким образом, нарастает от весны к осени. В осенне-зимний период накопившиеся за вегетационный период водно-растворимые соли выщелачиваются вглубь посредством промывных поливов и атмосферных осадков. На фоне вертикального дренажа и промывных поливов в начальный период вегетации содержание водно-растворимых солей в корнеобитаемой зоне, как правило, не превышало 0,3—0,4%, тип засоления хлоридно-сульфатный и сульфатный.

Солевой режим изменялся в зависимости от оросительной нормы. С ее увеличением происходило снижение содержания солей в почве как в старой, так и новой зоне орошения (рис. 6). Сезонное засоление зависело от уровня грунтовых вод и их минерализации (рис. 7, 8). Так, целинные сероземы практически не засолены в связи с тем, что грунтовые воды залегают глубоко. Весной содержание водно-растворимых солей на целине в слое 0—50 см составляло 0,11% от массы по плотному остатку, а на 3-й год, когда грунтовые воды достигли глубины 3,5 м, оно увеличилось до 0,23—0,31%, или более чем в 2 раза.

Наши исследования выявили эффективность промывок в улучшении водно-солевого режима почвы (рис. 9). Так, опыты, проведенные в новоорошаемой зоне в совхозах им. Сигизбаева, «Ташкент» и «Советская Россия», показали, что при отсутствии влагозарядково-промывных поливов происходит ежегодное накопление солей как за вегетацию, так и за год, несмотря на совер-

шенные оросительные системы, обладающие высоким КПД. Это обусловлено неглубоким залеганием грунтовых вод. При проведении влагозарядково-промывного полива хотя и отмечается сезонное засоление, однако в годовом цикле происходит процесс постепенного рассоления почв.

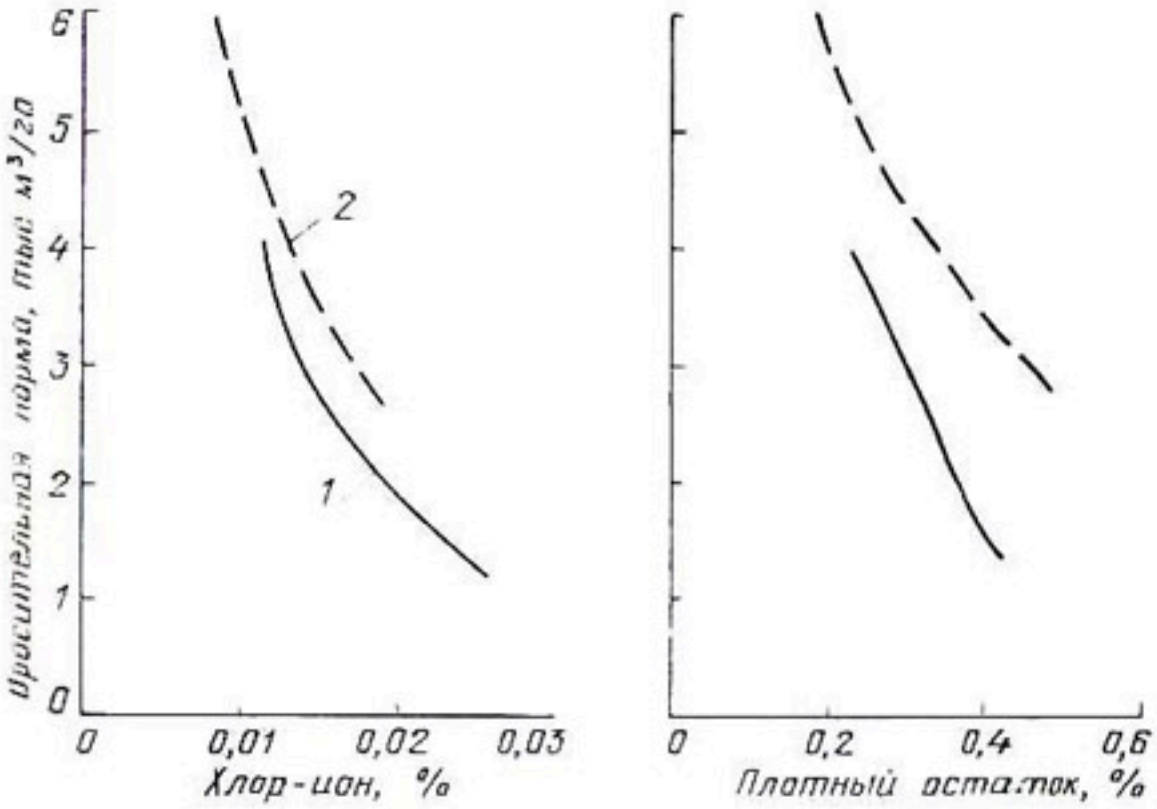


Рис. 6. Содержание солей в слое почвы 0—100 см в зависимости от оросительной нормы:
1 — старая зона орошения; *2* — новая зона орошения

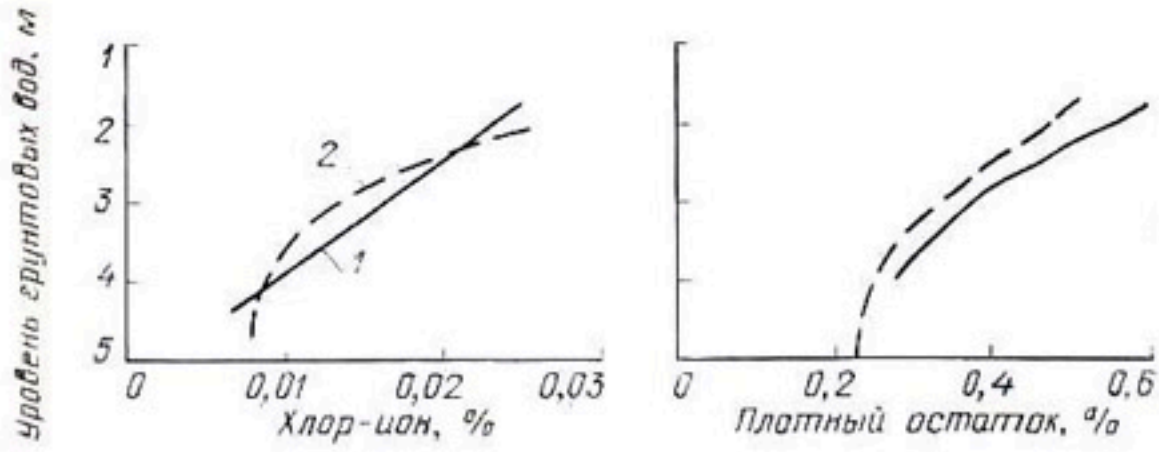


Рис. 7. Содержание солей в слое почвы 0—100 см в зависимости от уровня грунтовых вод:
1 — старая зона орошения; *2* — новая зона орошения

Таким образом, промывка засоленных почв существенно улучшает солевой режим, но не исключает реставрации засоления при условии слабого оттока дренажных вод. Чтобы обеспечить прогрессирующее рассоление при промывках, необходимо устра-

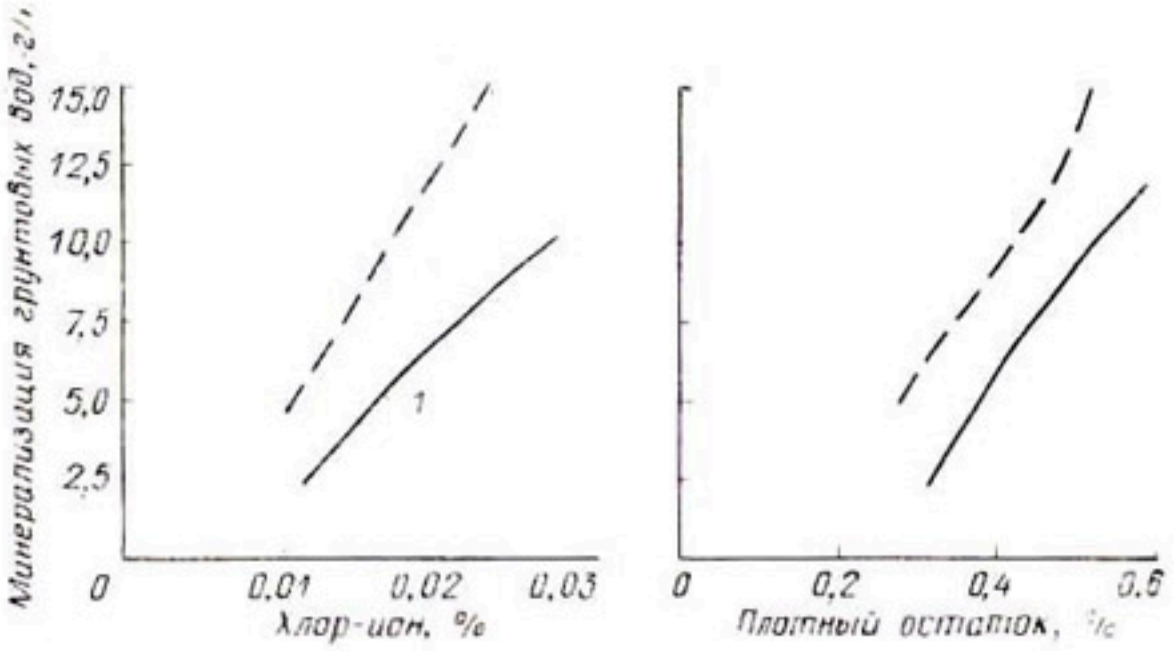


Рис. 8. Содержание солей в слое почвы 0—100 см в зависимости от минерализации грунтовых вод:

1 — старая зона орошения; *2* — новая зона орошения

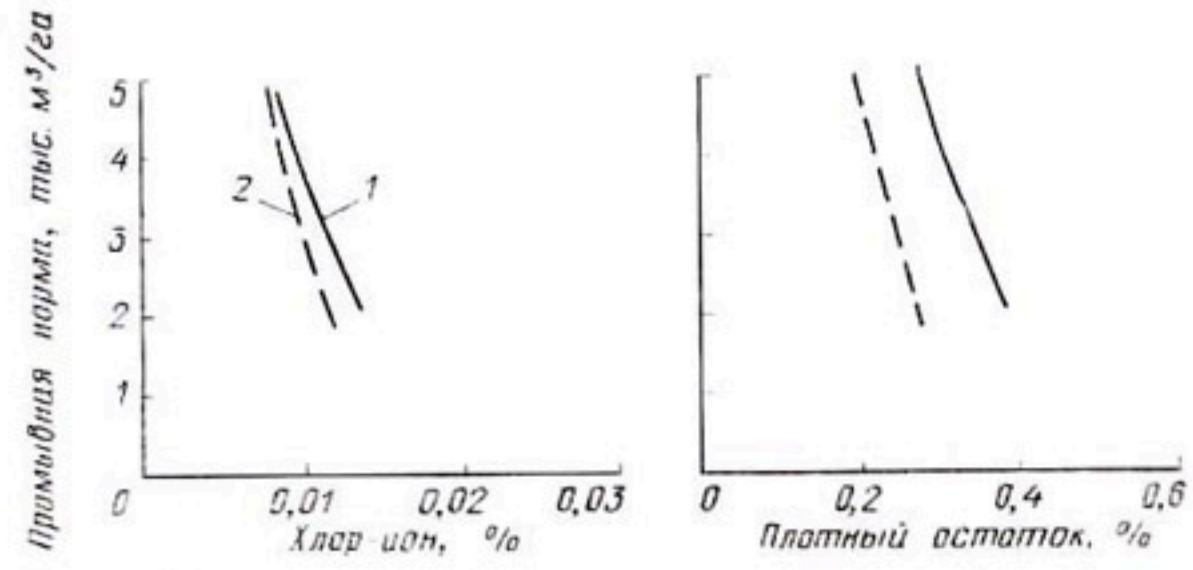


Рис. 9. Содержание солей в метровом слое почвы в зависимости от промывной нормы.

1 — старая зона орошения; *2* — новая зона орошения

нить возможность подъема грунтовых вод посредством устройства глубокого горизонтального и вертикального дренажа. Проведение регулярных промывок на фоне дренажа позволяет наиболее эффективно регулировать солевой режим почв. Такой опыт был выполнен на землях совхоза «Советская Россия». Промывку почвы, засоленной после двухлетнего освоения целины, производили речной водой с минерализацией 0,8—1.2 г/л при норме 3000 м³/га. Данные химического состава водных вытяжек этих почв (табл. 6) показали, что слабозасоленная почва после промывки перешла в категорию практически незасоленной. Общее количество солей в метровом слое уменьшилось с 0.396 до

0,235%, а содержание ионов хлора, натрия и сульфата снизилось почти вдвое.

Таблица 6

Влияние промывки на содержание солей в почве, %

Слой, см	HCO_3^-	Cl^-	SO_4^{--}	Ca^{++}	Mg^{++}	Na^+	K^+	Плотный остаток
Без промывки								
0—30	0,024	0,032	0,218	0,058	0,011	0,044	0,006	0,396
0—100	0,027	0,032	0,189	0,054	0,014	0,038	0,003	0,356
100—200	0,028	0,029	0,261	0,052	0,023	0,048	0,005	0,450
На фоне промывки								
0—30	0,031	0,019	0,155	0,031	0,008	0,027	0,004	0,235
0—100	0,025	0,019	0,122	0,027	0,009	0,033	0,004	0,238
100—200	0,023	0,014	0,216	0,024	0,014	0,064	0,002	0,363

Процесс передвижения солей носит сложный характер и зависит от водоподачи в вегетационный и невегетационный периоды, литологического строения толщи и главным образом от эффективности действия дренажа. Результаты рассоляющего действия дренажа показали, что в совхозе «Пахтаарал» до пуска в эксплуатацию системы вертикального дренажа в метровом слое содержалось 1,3% солей по плотному остатку. На 4-й год работы и при проведении ежегодных осенне-зимних промывок дифференцированными нормами содержание солей уменьшилось в 3 раза и почвы перешли из категории сильнозасоленных в слабозасоленные.

Высокая эффективность выноса солей из почвы под действием вертикального дренажа отмечена и в других хозяйствах Голодной степи. В новой зоне Голодной степи в совхозе «Ташкент» содержание водно-растворимых солей в метровом слое почвы на фоне горизонтального дренажа с расстоянием 180 м составляло 0,52%, а на фоне вертикального дренажа с расстоянием между скважинами 800—900 м содержание плотного остатка солей было меньше в 1,5 раза.

На гипсоносных сероземах (совхоз им. Гагарина) содержание солей на фоне горизонтального дренажа в слое 0—100 см равнялось в среднем 0,75%, а на фоне вертикального дренажа было 0,49%, или в 1,5 раза меньше. При этом рассоление почв происходило неодинаково в зависимости от расстояния от дрены. В совхозе «Ташкент» на фоне горизонтального дренажа наибольшее опреснение почв достигалось на расстоянии до 40 м от дрены, а на фоне вертикального дренажа эффективное рассоление прослеживалось на 175—400 м от скважины.

Орошение минерализованными водами коренным образом изменяет сложившийся солевой режим почв. В процессе поливов

минерализованной водой существенно повысилось содержание солей в почве, особенно в слое 0—40 см. Так, при поливе водой с минерализацией 3,1 г/л запас солей в слое почвы 0—100 см увеличился на 1,3 т/га при общем количестве поступивших в почву солей вместе с оросительной водой 1,95 т/га. При норме полива 1110 м³/га и минерализации воды 11,5 г/л запасы солей в слое почвы 0—100 см увеличились на 10,3 т/га при общем поступлении солей 12,7 т/га. Полив водой с минерализацией 21,1 г/л и нормой 1215 м³/га способствовал накоплению 24,0 т/га солей в метровом слое почвы при общем поступлении их вместе с оросительной водой в количестве 25,7 т/га. В целом при поливах минерализованной водой с содержанием солей от 3,1 до 21,1 г/л в почву поступает от 66,7 до 93,3% от их количества в поливной воде. Следовательно, применение минерализованных вод усиливает процесс вторичного засоления почв.

В результате применения комплекса мелиоративных мероприятий на всей территории Голодной степи произошло существенное улучшение солевого режима почв. В староорошаемой зоне (Пахтааральский район) за период с 1965—1967 по 1979 г. площади сильно- и среднезасоленных почв сократились почти в 4 раза. В новоорошаемой зоне на землях Центрального массива за период с 1957 (до освоения) по октябрь 1975 г. площади со средне- и сильнозасоленными почвами сократились с 26 по 14,4%, а в зоне влияния ЮГК (с 1966 по 1972 г.) — с 34,2 до 14,4% за счет перехода их в категорию слабозасоленных.

Глава II

ДРЕНАЖ — ВАЖНЕЙШЕЕ СРЕДСТВО РЕГУЛИРОВАНИЯ РЕЖИМА ГРУНТОВЫХ ВОД И ВОДНО-СОЛЕВОГО РЕЖИМА ОРОШАЕМЫХ ПОЧВ

ОПТИМИЗАЦИЯ РЕЖИМА РАБОТЫ ВЕРТИКАЛЬНОГО ДРЕНАЖА В МЕЛИОРАТИВНЫЙ И ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЙ ПЕРИОДЫ

Многочисленные экспериментальные данные свидетельствуют о том, что дренаж на подавляющей части орошаемой территории Средней Азии является основой устойчивого ведения орошаемого земледелия (Костяков, 1951; Аверьянов, 1965, 1978; Ковда, 1966, 1984; Айдаров, 1971). Вместе с тем эффективность его и, в частности, вертикального дренажа зависит от комплекса факторов и прежде всего от обоснованных параметров эксплуатации, т. е. режима откачек грунтовых вод в мелиоративный и эксплуатационный периоды мелиорации засоленных почв (Решеткина, 1965, 1967,

1969; Якубов, Корелис, 1971; Еременко и др., 1974; Решеткина, Якубов, 1978, 1981; Юлдашев, 1980; Решеткина и др., 1981). Вертикальным дренажем достигается устойчивое понижение уровня грунтовых вод, ускоренное рассоление почвогрунтов зоны аэрации и грунтовых вод (Легостаев, 1961; Иконому, Умаров, 1967; Колесов, Фелициант, 1970; Габриелов, 1974; Сагатов и др., 1975; Макарова, 1978). Мелиорирующее действие вертикального дренажа существенно сказалось и на урожайности хлопчатника (Лупанов, Алещенко, 1969; Сабиров и Броницкий, 1973; Столяров, 1975; Броницкий, 1978; Коваль и Селяметова, 1978; Ли Тен Хан, Шуравилин, 1984). По данным Н. М. Решеткиной и Х. И. Якубова (1978), мелиоративный период в работе вертикального дренажа обычно продолжается в течение 4—5 лет.

Опыты по установлению режима работы вертикального дренажа в мелиоративный период проводились совместно с Н. М. Решеткиной и Х. И. Якубовым на опытно-производственных участках совхоза «Пахтаарал» (отводы 17, 24, 33 и 34). Опытные участки в исходном состоянии, до пуска в эксплуатацию вертикального дренажа, характеризовались слабой естественной и искусственной дренированностью. Отток грунтовых вод был затруднен в связи с гидрогеологическими особенностями строения массивов. Модуль дренажного стока открытого горизонтального дренажа с удельной протяженностью 5—10 пог. м/га колебался в пределах 0,01—0,04 л/с с 1 га. В среднем за год грунтовые воды залегали на глубине 1,6—1,8 м. Наиболее близкое залегание их отмечалось после осенне-зимних промывок — 0,6—1,0 м, а самое глубокое в октябре — 2,2—3,0 м. Уровень напорных вод находился выше уровня грунтовых вод на 0,06—0,21 м.

В зоне покровного мелкозема имел место положительный солевой баланс. Ежегодный приток подземных вод в покровные суглинки из каптируемых пластов составлял 500—1000 м³/га. Накопление запасов легкорастворимых солей в зоне аэрации из нижележащих слоев и поступление их вместе с оросительной водой составляло ежегодно 10,5—13,0 т/га. Содержание солей в верхнем 3-метровом слое было 0,385—0,679%, в том числе в слое 0—100 см — 0,438—1,072%. Засоленность почв с глубиной уменьшалась. Тип засоления хлоридно-сульфатный. Скважины вертикального дренажа пробурены на глубину 50—70 м с диаметром 1000 мм. Расстояния между скважинами составляли 1000 м и более, дебит воды скважины в среднем 50—70 л/с. При понижении уровня воды в скважине до 12—16 м удельный дебит равнялся 5—8 л/с на 1 м. На 1 м фильтра приходилось 2,5—3,5 л/с. Минерализация откачиваемых вод вначале эксплуатации составляла 6—7 г/л по плотному остатку и от 0,9 до 1,7 г/л — по хлору. Опытно-производственные участки сложены тяжелыми, реже средними суглинками. Коэффициент фильтрации почв колебался от 0,1 до 0,4 м/сут.

Результаты исследований по скорости фильтрации при работающих скважинах показали на неравномерность ее распределе-

ния по площади. Эта неравномерность наиболее ярко выражена вблизи скважин. Скорость фильтрации на участках, расположенных в 50 м от скважины, достигает больших величин — 145—286 мм/сут. По мере удаления от скважины вследствие снижения интенсивности дренированности происходило уменьшение скорости фильтрации. На расстоянии 250 м от скважины скорость фильтрации уменьшалась в среднем с 203,8 до 118,5 мм/сут, или на 41,8% по сравнению с 50-метровым расстоянием.

Следует отметить, что при большем удалении от скважины ее действие на скорость фильтрации ослабевало, хотя в целом отмечалась тенденция к снижению скорости. Так, на расстоянии 450 м от скважины скорость фильтрации почв в среднем равнялась 110 мм/сут и была меньше, чем на расстоянии 250 м, всего лишь на 8,5 мм/сут, или на 7,2%. Таким образом, изменение скорости фильтрации почв заметно сказывалось на расстоянии 250 м от скважины. Эту территорию можно считать зоной наиболее интенсивного действия вертикального дренажа. Примерно аналогичные данные по влиянию вертикального дренажа на скорость фильтрации получены В. С. Макаровой, Г. М. Нешумовым (1972) в совхозе им. Узакова.

В первый период работы дренажа уровень грунтовых вод в значительной степени зависит от дальности расположения участка по отношению к работающим скважинам вертикального дренажа: чем ближе к скважинам, тем ниже уровень грунтовых вод. При расстоянии от скважины 50 и 250 м, 250 и 450 м разница в уровнях грунтовых вод в среднем за вегетацию составляет соответственно 40—60 и 20—30 см; при большем удалении разница в уровнях становится незначительной.

Депрессионные кривые грунтовых вод показывают, что включение скважин в работу сопровождается общим понижением уровня грунтовых вод по всей зоне действия скважин. Через 10 дней после включения скважин в работу грунтовые воды опускались на 80—100 см. Причем скорость снижения уровня грунтовых вод зависит от расстояния данного участка до вертикальной скважины и первоначального их залегания. Так, на расстоянии 50 м от скважины скорость в среднем составляет 2—4 см/сут при максимуме 8 см/сут, при удалении на 250 м — 1—3 см/сут при максимуме — 6 см/сут, а при удалении на 450 м эта величина не превышает 4—5 см/сут и в среднем равна 0,5—1 см/сут (рис. 10). Восстановление уровня грунтовых вод после прекращения откачки происходит через 10—20 дней.

При откачке из скважины наряду с понижением грунтовых вод отмечалось интенсивное снижение напорности (3—7 см/сут — на расстоянии 50 м, 2—6 см/сут — на расстоянии 250 м и 1—4 см/сут — на расстоянии 450 м). Средневзвешенная величина снижения напорных вод в радиусе действия скважин составляла 3,5 см/сут при среднем дебите скважины 60 л/с. Зона наиболее интенсивного влияния дренажа на понижение уровня напорных и грунтовых вод составляла порядка 200—300 м. На этом расстоя-

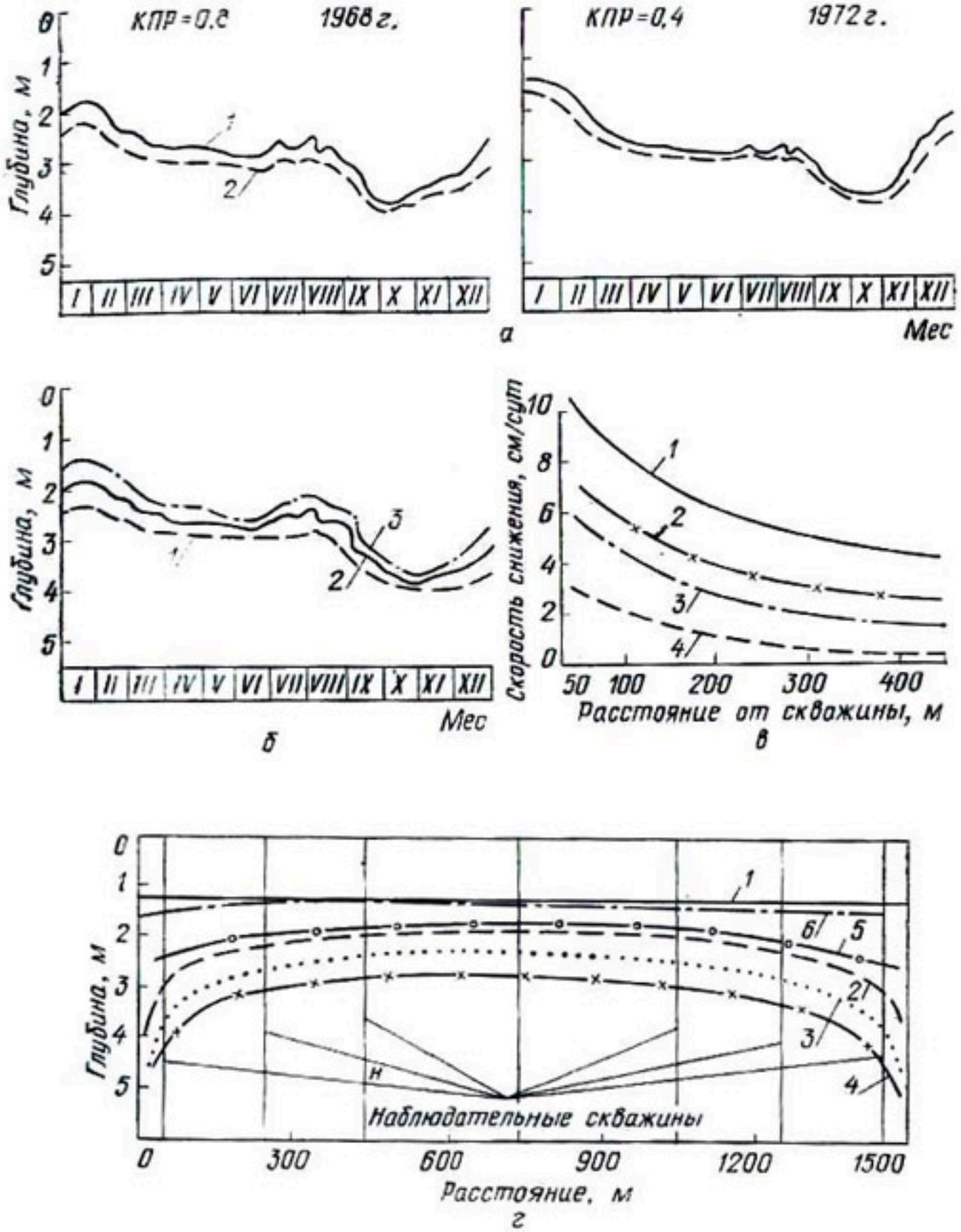


Рис. 10. Динамика уровня грунтовых и напорных вод на фоне вертикального дренажа:

а — влияние откачек на уровень грунтовых вод *(1)* и напорных вод *(2)*; *б* — уровень грунтовых вод при удаленности: *1* — 50 м от скважины, *2* — 250 м, *3* — 450 м; *в* — скорость спада уровня напорных *(1, 2)* и грунтовых вод *(3, 4)*: *1, 3* — при КПР=0,8; *2, 4* — при КПР=0,4; *г* — депрессионные кривые грунтовых вод в створе вертикального дренажа: *1* — до включения скважин, *2* — через 10 дней, *3* — 20 дней, *4* — 50 дней после включения, *5* — через 10 дней после остановки, *6* — через 20 дней

нии падение напора на 1,0—2,0 м происходило через 24 ч. Градиент падения напора снижался в последующие 5 сут и составил в среднем 0,8 м/сут. На расстоянии 450 м от скважины уровень напорных вод снижался со скоростью 2,2—2,7 м/сут. Коэффициент полезной работы (КПР) дренажа на различных участках был неодинаковым (табл. 7), что сказывалось на изменении в режиме грунтовых и напорных вод, водном и солевом режимах почв.

Таблица 7

Коэффициент полезной работы скважины вертикального дренажа в совхозе «Пахтаарал» (среднее за 1966—1972 гг.)

Номер участка	Сезон и период года						
	осень	зима	весна	лето	вегетационный период (IV—IX)	невегетационный период (X—III)	за год
1	0,68	0,80	0,76	0,60	0,66	0,76	0,71
2	0,63	0,74	0,68	0,52	0,59	0,70	0,64
3	0,49	0,62	0,50	0,39	0,42	0,58	0,50
4	0,61	0,76	0,67	0,46	0,54	0,71	0,62

При среднем многолетнем коэффициенте полезной работы дренажа за год, равном 0,71 (участок № 1), грунтовые воды находились на глубине 284 см, напорные воды — 308 см, а в вегетационный период — соответственно 294 и 314 см. При снижении коэффициента работы дренажа до 0,62—0,64 уровень грунтовых вод повышался на 12—20 см. В среднем за год они залегали на глубине 264—272 см, а за вегетационный период — на глубине 273—281 см. Наиболее близко к поверхности грунтовые воды залегали при годовом КПР, равном 0,50. Здесь грунтовые воды в среднем за год находились на глубине 253 см, а за период вегетации — на глубине 256 см. Напорные воды во все периоды года были ниже грунтовых на 11—23 см (табл. 8, см. рис. 10). Таким образом, грунтовые воды находились ниже критического уровня только при коэффициенте работы дренажа более 0,70. Наиболее эффективное их понижение и на большую глубину отмечается при больших коэффициентах работы скважин. Так, в 1968 г. при коэффициенте работы скважин 0,88 грунтовые воды в среднем за год стояли на глубине 315 см, а при КПР 0.75 (1967 г.) они понизились до 299 см.

При различных режимах работы дренажа изменялись не только уровни грунтовых вод, но и степень их минерализации. В значительной мере содержание солей зависело от степени засоления

Таблица 8

Уровни грунтовых и напорных вод по участкам, см (среднее за 1966—1972 гг.)

Сезон и период года	Номер участка							
	1		2		3		4	
	Напорные воды	Грунтовые воды	Напорные воды	Грунтовые воды	Напорные воды	Грунтовые воды	Напорные воды	Грунтовые воды
Осень	393	371	378	359	360	344	375	357
Зима	245	218	237	212	225	206	228	209
Весна	288	255	264	236	244	229	257	234
Лето	306	292	293	281	249	234	268	255
Апрель — сентябрь	314	294	298	281	266	256	280	273
За год	308	284	293	272	269	253	282	264

почв, режимов промывок и орошения. Наши данные показали, что наибольшее опреснение грунтовых вод происходило при повышении коэффициента полезной работы дренажа (табл. 9). Причем

Таблица 9

Минерализация грунтовых вод в зоне действия вертикального дренажа, г/л (среднее за 1966—1972 гг.)

Номер участка	Расстояние от вертикальной скважины, м							
	50		250		450		средневзвешенное	
	Плотный остаток	Хлор-ион	Плотный остаток	Хлор-ион	Плотный остаток	Хлор-ион	Плотный остаток	Хлор-ион
1	4,96	0,392	3,91	0,303	4,12	0,324	4,12	0,318
2	5,78	0,464	5,03	0,406	5,08	0,397	5,14	0,408
3	6,12	0,508	5,27	0,413	5,13	0,404	5,30	0,420
4	5,93	0,498	5,16	0,454	5,25	0,459	5,29	0,461

в первые два года после сдачи в эксплуатацию дренажа минерализация грунтовых вод несколько повышалась за счет перехода солей из почвенного раствора в грунтовые воды при профилактических промывках. Однако за 1966—1972 гг. общая минерализация грунтовых вод понизилась с 6,42 г/л (1966 г.) до 4,10—4,60 г/л (1972 г.). В среднем за годы исследований наименьшая концентрация солей в грунтовых водах отмечалась при КПР скважин 0,71 (плотный остаток составлял 4,12 г/л и хлор-ион — 0,418 г/л). При снижении КПР до 0,60—0,50 минерализация воды оставалась выше на 21%, или на 1,02—1,18 г/л по плотному остатку и 0,09—0,143 г/л по хлор-иону, чем при КПР 0,71. На расстоянии 50 м от скважины происходило повышение минерализации грунтовых вод по сравнению с более отдаленными участками на 13—21%. Это обусловлено прежде всего притоком засоленных грунтовых вод к скважине.

Минерализация откачиваемых вод из скважины вертикального дренажа в начальный период эксплуатации была равна 5,97—6,12 г/л, а после шести лет эксплуатации она снизилась на 18% (4,89—5,02 г/л). Поливы хлопчатника проводились по бороздам, а люцерны — затоплением. Хлопчатник поливали по схеме 1—2—0 оросительной нормой 3,2—3,5 тыс. м³/га, а люцерну — 5 раз с оросительной нормой 6—6,5 тыс. м³/га.

Результаты изучения водного баланса показали, что в первый год эксплуатации скважин (1966 г.) подземный приток сменился на отток. До строительства вертикального дренажа приток составлял 680 м³/га. В последующие годы отток достиг 3340 м³/га. Несмотря на повышенные нормы промывки в первый период эксплуатации дренажа для удаления избыточного количества солей, величина эвапотранспирации существенно уменьшилась за счет снижения расхода грунтовых вод при уменьшении уровня их на 50—130 см. Таким образом, водный баланс в целом складывался отрицательно, подземный отток составлял 15—23% от суммы расходных статей водного баланса. Модуль дренажного стока в среднем за год составил 0,21—0,28 л/с с 1 га, в вегетационный период 0,19—0,26 и в период промывок 0,30—0,33.

Вследствие интенсивных откачек из скважины на участке № 1 складывался наиболее благоприятный солевой баланс. На других участках, где было отведено меньше воды при меньших значениях КПР, отмечалась недостаточная дренированность территории и, как следствие, это отрицательно сказывалось на солевом режиме почв. Наблюдения за динамикой солей в зоне аэрации показали, что на фоне работающего вертикального дренажа происходил интенсивный процесс расслоения почв, особенно в первые годы при высокой исходной степени засоления (табл. 10). Наиболее эффективно вымывались соли на участке № 1, где в осенне-зимний период 1965/66 г. была подана повышенная промывная норма (8 тыс. м³/га). Здесь при коэффициенте полезной работы скважины, равном 0,86, из верхнего метрового слоя почвы было вымыто 46,1% плотного остатка и 43,2% хлор-иона, из трехметрового слоя соответственно 33,5 и 30,3%. При этом почва за один год интенсивной работы дренажа и высоких норм промывок перешла из сильнозасоленной в среднезасоленную.

В последующие два года при ежегодных нормах промывки 5,6 тыс. м³/га и высоком коэффициенте работы скважины (0,83 в 1967 г. и 0,80 в 1968 г.) почвы опреснились до уровня слабого засоления. Содержание солей в метровом слое почвы уменьшилось на 59,2% по плотному остатку и на 71,6% по хлор-иону от исходного. В трехметровом слое количество хлор-иона снизилось до 0,020% (при исходном 0,066%). В последующие годы происходило дальнейшее рассоление почв на фоне ежегодных профилактических промывок нормой 3,0—3,5 тыс. м³/га. В 1972 г. в осенний период перед промывкой содержание ионов хлора как в метровом, так и трехметровом слое снизилось до 0,012—0,014%. Таким образом, почва даже к концу вегетации оставалась слабо-

Таблица 18

Содержание водно-растворимых солей в почвогрунтах зоны аэрации, %

Номер участка	Слой почвы, см	Без дренажа (1965 г.)		При работе вертикального дренажа					
				1966 г.		1968 г.		1972 г.	
		Плотный остаток	Хлор-ион	Плотный остаток	Хлор-ион	Плотный остаток	Хлор-ион	Плотный остаток	Хлор-ион
1	0—100	0,947	0,074	0,510	0,036	0,386	0,015	0,264	0,012
	100—200	0,764	0,065	0,518	0,047	0,394	0,020	0,272	0,014
	200—300	0,642	0,058	0,534	0,049	0,405	0,023	0,269	0,016
	0—300	0,784	0,066	0,521	0,044	0,395	0,020	0,268	0,014
2	0—100	0,995	0,082	0,513	0,046	0,401	0,031	0,324	0,021
	100—200	0,841	0,070	0,524	0,048	0,439	0,037	0,337	0,022
	200—300	0,763	0,062	0,550	0,051	0,452	0,038	0,346	0,025
	0—300	0,866	0,071	0,529	0,048	0,431	0,035	0,336	0,023
3	0—100	1,022	0,096	0,514	0,048	0,407	0,032	0,387	0,024
	100—200	0,734	0,061	0,516	0,055	0,442	0,043	0,396	0,029
	200—300	0,612	0,056	0,565	0,059	0,469	0,048	0,405	0,030
	0—300	0,789	0,071	0,532	0,054	0,576	0,041	0,396	0,028
4	0—100	0,626	0,065	0,543	0,051	0,420	0,022	0,365	0,019
	100—200	0,474	0,057	0,346	0,026	0,357	0,021	0,318	0,017
	200—300	0,448	0,052	0,377	0,034	0,328	0,020	0,306	0,014
	0—300	0,516	0,058	0,422	0,037	0,368	0,021	0,330	0,017

засоленной. На участке № 2 с аналогичным участку № 1 содержанием исходных солей, параметров и технологии промывок по годам, но меньшим КПР почвы только по верхнему метровому слою перешли из разряда сильнозасоленных в слабозасоленные. В целом трехметровый слой перед промывкой 1968/69 г. по содержанию хлор-иона оставался среднезасоленным (0,035%). В дальнейшем происходило постепенное рассоление почв на фоне эксплуатационных промывок. На седьмой год эксплуатации вертикального дренажа и к концу периода вегетации почвы оставались слабозасоленными во всей зоне аэрации.

Наиболее неблагоприятный солевой режим почв складывался на участке № 3, где коэффициент работы в среднем за 1966—1972 гг. был наименьшим и составлял 0.50. Следует отметить, что в 1971 г. скважина практически не работала, но в первые два года она интенсивно откачивала воду (КПР 0,60—0,85). На фоне промывки нормой 8,0 тыс. м³/га (1965/66 г.) почва опреснилась до уровня среднего засоления при сильнозасоленном исходном состоянии.

После трех лет работы дренажа (1968 г.) на фоне промывок (1966/67 г. 5,0 тыс. м³/га и 1967/68 г. 5,5 тыс. м³/га) достигнуто интенсивное рассоление почв. Однако к концу вегетационного периода произошло сезонное соленакопление, и почва перешла в категорию среднезасоленных. На глубине от 1 до 3 м почва в тече-

ние года оставалась среднезасоленной. В дальнейшем на фоне ежегодных эксплуатационных промывок нормой 3—3,6 тыс. м³/га вся зона аэрации опреснилась до уровня слабого засоления даже к концу вегетации (1969—1972 гг.).

При меньшем исходном засолении почв на участке № 4, где коэффициент полезной работы в среднем составлял 0,62 при общей норме промывки за 3 года 15,7 тыс. м³/га, почва эффективно рассолилась. Содержание иона хлора в зоне аэрации к осени 1968 г. составляло 0,021% и плотного остатка — 0,368%. Процесс дальнейшего рассоления отмечался и в последующие годы при эксплуатационных промывках нормами 3,0—3,5 тыс. м³/га. Причем к началу вегетации почвы были полностью опреснены, а к концу вегетации они имели уровень слабого засоления. Это наглядно видно по эпюрам распределения солей в почвенном профиле (рис. 11), которые показывают, что только при коэффициенте полезной работы скважин более 0,70 происходит эффективное опреснение почв как в зоне интенсивного влияния дренажа, так и умеренного его влияния. При этом отмечается неравномерность рассоляющего действия скважин на разных расстояниях: по мере увеличения расстояния от скважины содержание солей в трехметровой толще повышалось (рис. 12). Все это указывает на необходимость дифференциации промывной нормы на площади, обслуживаемой скважиной.

Работа вертикального дренажа обеспечила повсеместное рассоление почвогрунтов: процесс засоления сменился необратимым рассолением. Перед началом эксплуатации дренажа приток солей в количестве 6,2 т/га сменился в первый год действия дренажа на отток, который составил 12.4—13.7 т/га. В последующие годы отток солей постепенно усиливался и в 1969 г. достиг 13.1—16,7 т/га. В дальнейшем он уменьшился до 1,2—4,7 т/га. При КПР более 0,70 происходит требуемое рассоление зоны аэрации и верхнего слоя грунтовых вод даже сильнозасоленных почв за 3 года работы вертикального дренажа при проведении ежегодных промывок нормами 5—8 тыс. м³/га.

Различия в степени рассоления почв в зависимости от режима работы скважин вертикального дренажа сказались на урожайности хлопчатника (табл. 11). Наибольший урожай хлопка-сырца и сена люцерны получен при интенсивной работе дренажа (КПР в среднем за 7 лет 0,71). Снижение КПР до 0,50—0,60 приводило к уменьшению урожая на 10—20%. Полученные данные по водно-солевому режиму почв и урожайности сельскохозяйственных культур при различных режимах работы вертикального дренажа позволяют рекомендовать оптимальный режим в мелиоративный и эксплуатационный периоды (табл. 12, рис. 13).

Рекомендуемые режимы откачки обоснованы технико-экономическим расчетом. Экономическая эффективность рекомендуемого режима откачки достигнута за счет улучшения мелиоративного состояния земель, которое способствовало повышению урожайности сельскохозяйственных культур, несмотря на большие

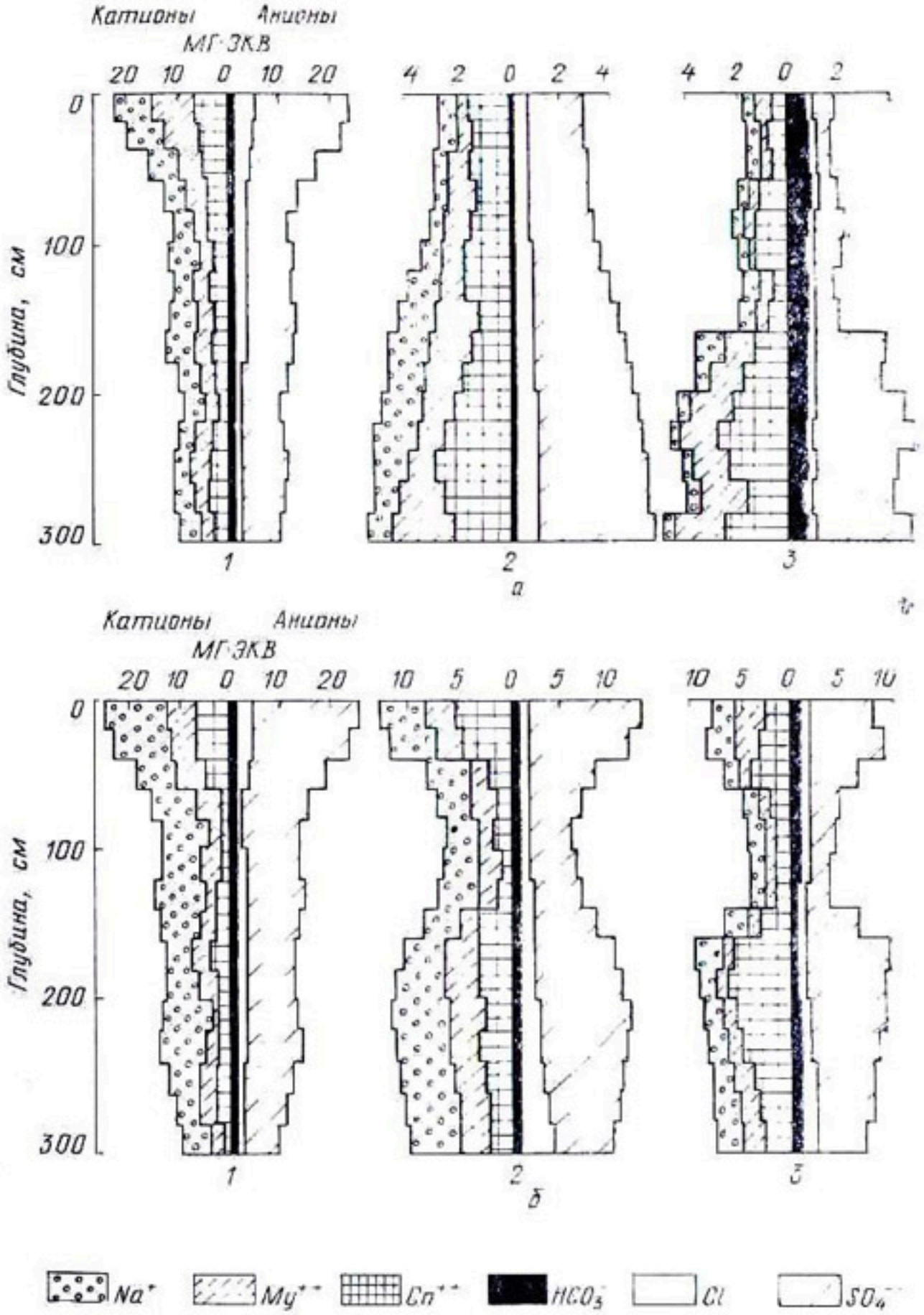


Рис. 11. Динамика водно-растворимых солей в зависимости от коэффициента полезной работы (КПР) скважин вертикального дренажа:

а — опытный участок № 1: *1* — 1965 г. (без дренажа), *2* — 1968 г. (средний за 1966—1968 гг. КПР=0,8), *3* — 1972 г. (средний за 1969—1972 гг. КПР=0,6); *б* — опытный участок № 3: *1* — 1965 г. (без дренажа), *2* — 1968 г. (средний за 1966—1968 гг. КПР=0,6), *3* — 1972 г. (средний за 1969—1972 гг. КПР=0,4)

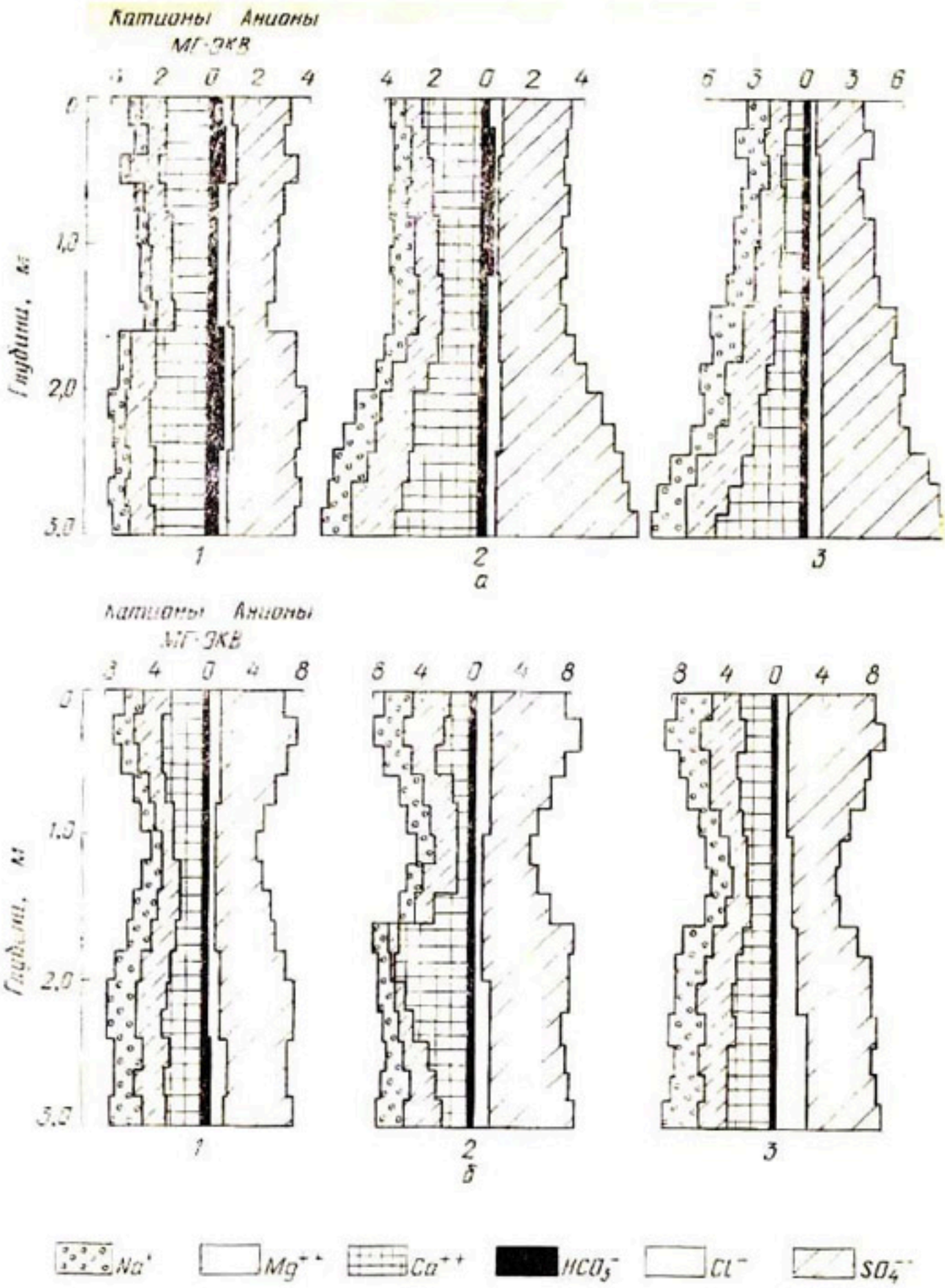


Рис. 12. Динамика водно-растворимых солей в зависимости от удаления от скважины:

а — опытный участок № 1. 1968 г. КПР=0,8; *б* — опытный участок № 3. 1972 г., КПР=0,4: *1* — 50 м от скважины, *2* — 250 м, *3* — 150 м

Таблица 11

Урожайность сельскохозяйственных культур в зависимости от режима работы скважин, т/га

Номер участка	Урожайность хлопка-сырца						Урожайность сена люцерны	
	1965 г.	1966 г.	1967 г.	1968 г.	1969 г.	1970 г.	1971 г.	1972 г.
1	1,65	3,67	3,61	3,55	3,29	3,44	15,22	16,78
2	1,54	3,36	3,34	3,21	2,87	3,09	13,74	14,93
3	1,32	3,23	3,18	3,04	2,73	2,76	12,08	13,79
4	1,87	2,87	3,00	2,49	2,62	2,82	12,58	14,16

Таблица 12

Оптимальные режимы работ скважин вертикального дренажа и глубина залегания грунтовых вод (Q = 60 л/с, F = 175 га)

Период работы	Сезон и период года						
	осень	зима	весна	лето	вегетационный период (IV—IX)	невегетационный период (X—III)	за год
Коэффициент работы скважин							
Мелиоративный (первые три года)	0,77	0,94	0,86	0,74	0,79	0,86	0,83
Эксплуатационный (последующие годы)	0,50	0,87	0,62	0,41	0,51	0,69	0,60
Глубина залегания грунтовых вод, м							
Мелиоративный (первые три года)	3,64	1,85	2,46	3,05	3,0	2,5	2,75
Эксплуатационный (последующие годы)	3,59	2,18	2,33	2,70	2,74	2,67	2,70
Модуль дренажного стока, л/с/га							
Мелиоративный (первые три года)	0,264	0,321	0,295	0,255	0,271	0,296	0,284
Эксплуатационный (последующие годы)	0,171	0,297	0,213	0,141	0,174	0,236	0,205

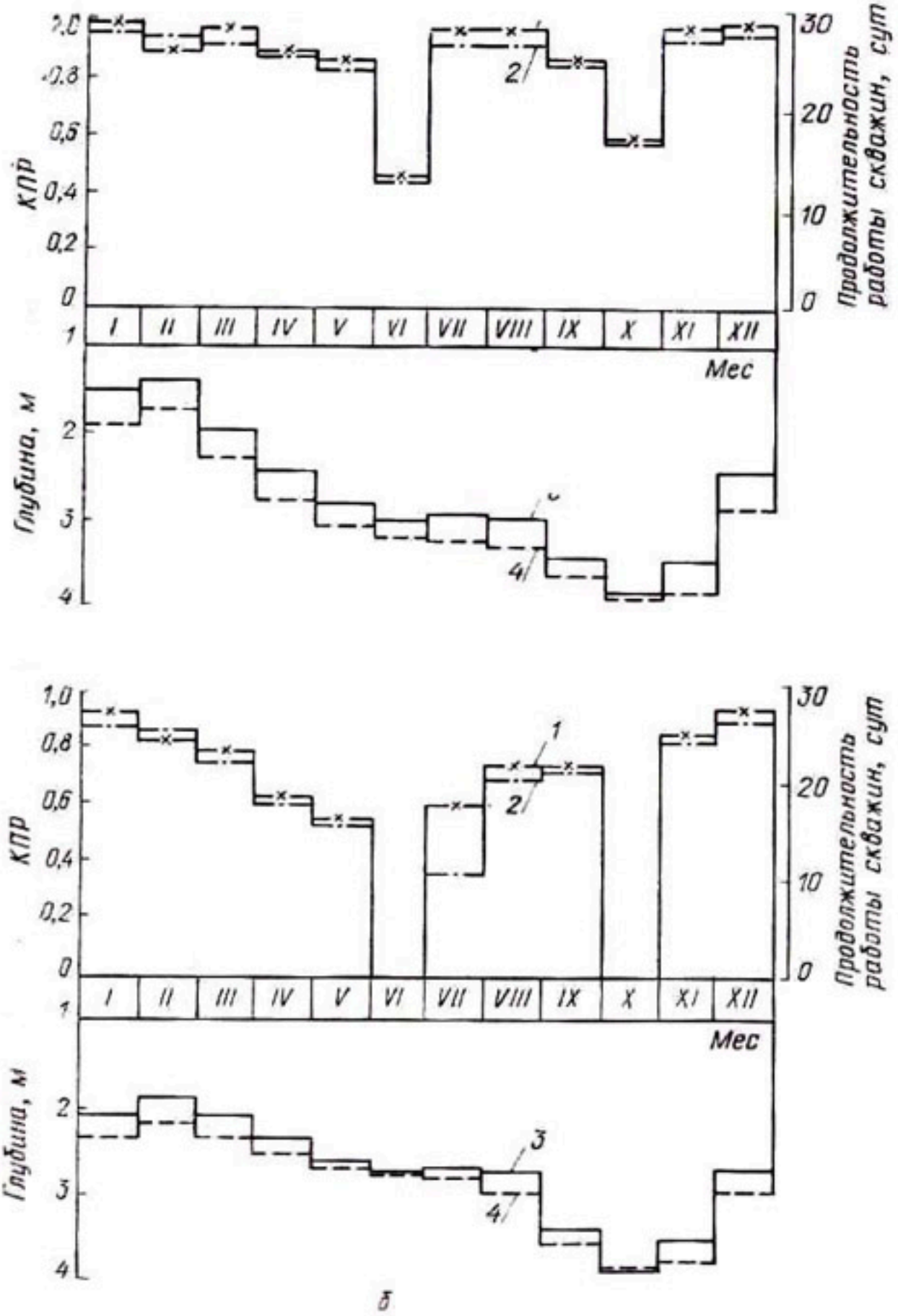


Рис. 13. График режима откачек из скважин вертикального дренажа:
а — мелиоративный период; *б* — эксплуатационный период; *1* — продолжительность работы скважины, *2* — коэффициент полезной работы (КПР), *3* — глубина грунтовых вод, м, *4* — глубина напорных вод, м

затраты по эксплуатации скважин. Эти расчеты согласуются с данными других авторов. Так, А. Я. Белоусов (1976) определил, что экономическая эффективность для одной скважины составляет свыше 1000 руб. Приведенные данные показывают, что благоприятный водно-солевой режим в почве складывается при интенсивной работе скважин: в мелиоративный период КПР должен составлять 0,83, а в эксплуатационный — 0,60.

Таким образом, в мелиоративный период должны быть обеспечены условия для максимальной работы дренажа. Это позволит добиться наибольшего снижения уровня грунтовых вод и ускоренного рассоления корнеобитаемого слоя почвогрунта проведением промывки повышенными промывными нормами.

В эксплуатационный период работы вертикального дренажа необходимо поддерживать оптимальный водно-солевой режим почв, обеспечивающий высокую и устойчивую урожайность хлопчатника при наименьших затратах оросительной воды и средств. Он должен быть таким, чтобы иссушение корнеобитаемого слоя и содержание в нем токсичных солей не достигали критических значений и не сказывались отрицательно на росте и развитии растений и урожайности хлопчатника. С целью определения оптимального режима работы скважин в эксплуатационный период с учетом метеорологических особенностей года нами совместно с Ли Тен Хаюм в 1976—1978 гг. на пяти участках совхоза «Пахтаарал» проведены специальные исследования. Были выбраны скважины 68, 60, 69 и 4, где поддерживался разный КПР (табл. 13).

Таблица 13

Заданный режим работы скважин вертикального дренажа (КПР)

Номер участка	Сезон и период года						
	осень	зима	весна	лето	вегетационный период (IV—IX)	невегетационный период (X—III)	за год
1	0,93	0,965	0,98	0,99	0,96	0,97	0,97
2	0,25	1,0	0,92	0,77	0,69	0,79	0,74
3	0,11	0,98	0,85	0,03	0,28	0,70	0,49
4	0	0,88	0,09	0	0	0,48	0,24

Участок № 5 (контроль) отличался слабой дренированностью и мелиоративный режим формировался здесь под влиянием окружающих скважин, расположенных на расстоянии 1400—1500 м. Минерализация откачиваемых вод варьировала от 3,6 до 5,0 г/л.

По данным табл. 14 и рис. 14 при КПР 0,97 достигнуто наиболее глубокое понижение уровня грунтовых вод. В среднем за год

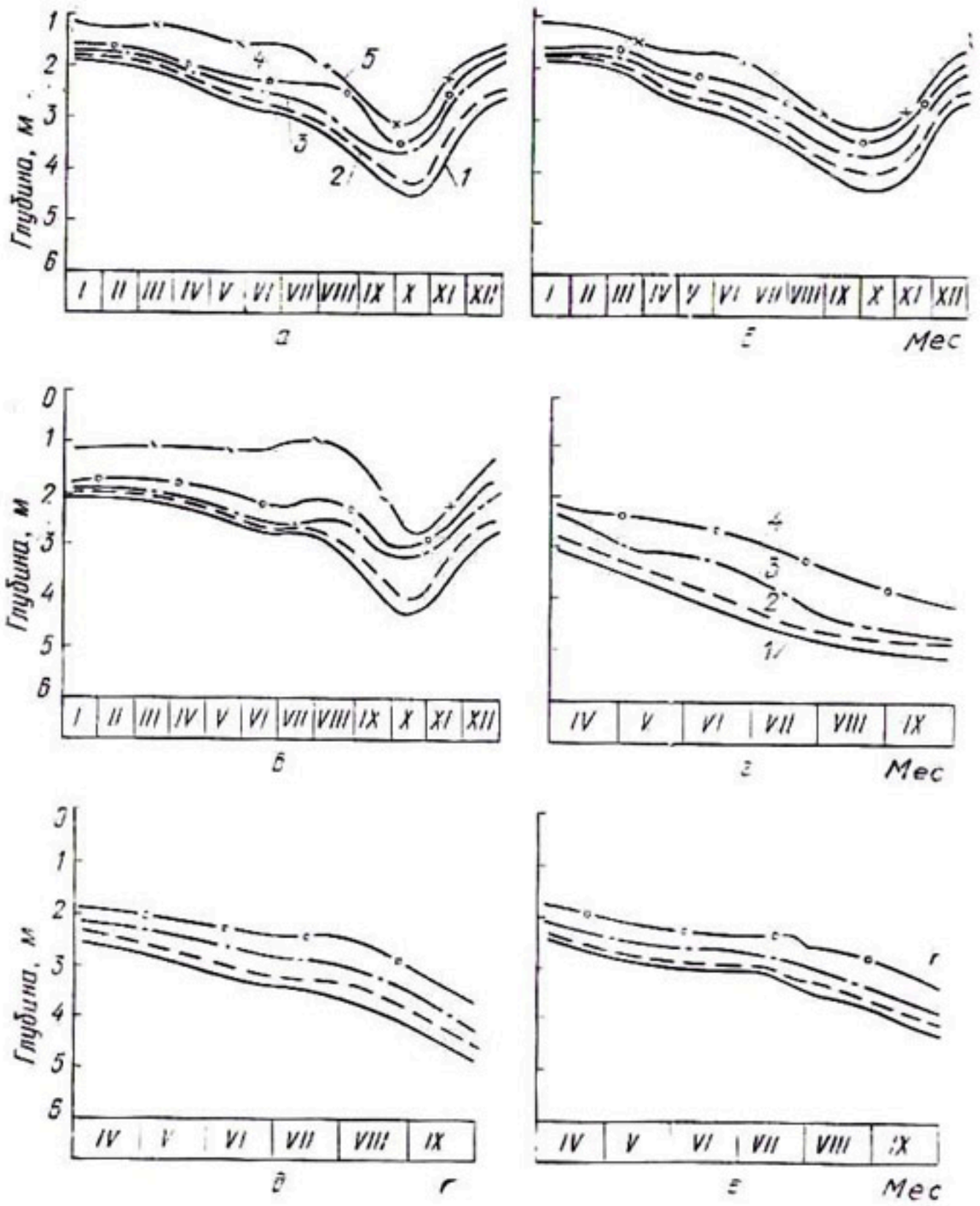


Рис. 14. Динамика уровней грунтовых вод в зависимости от водности года и продолжительности работы скважин:

а — благоприятные годы (1976—1977 гг.); *б* — среднее за 1976—1978 гг.; *в* — неблагоприятный 1978 г.; *г* — 50 м от скважины; *д* — 250 м от скважины; *е* — 500 м от скважины: *1* — за год КПР=0,97, *2* — КПР=0,74, *3* — КПР=0,49, *4* — КПР=0,25, *5* — контроль

они располагались на глубине 3 м. В послепромывной период они поднимались до 2,0—2,3 м в радиусе 50 м и до 1,3—1,9 м на расстоянии 500 м от скважины. В отдельные периоды года, особенно в осенний, грунтовые воды в радиусе эффективной работы дрена-

Таблица 14

Динамика уровня грунтовых вод в зоне действия вертикального дренажа, м (среднее за 1976—1980 гг.)

Номер участка	Продолжительность работы скважины, мес	Расстояние от скважины, м							
		50		250		500		среднее	
		за апрель—сентябрь	за год	за апрель—сентябрь	за год	за апрель—сентябрь	за год	за апрель—сентябрь	за год
1	12	3,4	3,3	3,1	2,9	3,0	2,7	3,1	3,0
2	9	3,3	3,2	3,0	2,8	2,8	2,6	3,0	2,9
3	6	3,0	2,8	2,8	2,6	2,7	2,4	2,9	2,6
4	3	2,5	2,4	2,5	2,4	2,3	2,3	2,5	2,3
5		без скважины						2,0	1,9

жа опускались на 4—5 м. Следовательно, в староорошаемой зоне Голодной степи при средней нагрузке 125—175 га на одну скважину вертикальный дренаж даже при максимальном КПР не создает автоморфный мелиоративный режим. При КПР 0,74 грунтовые воды залегали на 0,10—0,20 м выше по сравнению с КПР 0,97. В среднем за год и вегетацию они находились соответственно на глубинах 2,9 и 3,0 м.

При КПР 0,5 в зимний период вода откачивалась почти круглосуточно для создания оптимальных условий проведения промывки и полевых работ. В весенний период скважины включались в течение 85% времени с 1 марта по 20 мая. Летом и осенью они практически полностью отключались. Это обеспечило поддержание уровня грунтовых вод на глубине 2,6 м в среднем за год и 2,9 м за вегетационный период. При КПР 0,24 среднегодовая глубина грунтовых вод составила 2,3 м и за вегетационный период — 2,5 м. В условиях слабой дренированности (участок № 5) грунтовые воды в среднем за год находились на глубине 1,9 м и в вегетационный период — 2 м. Вертикальный дренаж оказывает влияние не только на глубину залегания, но и на минерализацию. За три года работы дренажа произошло опреснение грунтовых вод, которое наиболее выражено при КПР 0,97 (табл. 15).

При КПР дренажа 0,5—0,75 концентрация солей в грунтовой воде постепенно уменьшается (12—33% за три года) и содержание их остается невысоким. Сокращение продолжительности работы скважин до 3 мес в году (КПР 0,24) не снижало минерализацию грунтовых вод. При слабом влиянии дренажа (участок № 5) степень минерализации грунтовых вод не только не снижалась, но даже повышалась. Изменения химического состава грунтовой воды были менее четко выражены и на расстоянии 500 м

от скважины, где сказывалось затухающее действие вертикального дренажа, и мелиорирующая его роль проявилась в меньшей степени.

Таблица 15

Минерализация грунтовых вод в зоне действия вертикального дренажа, г/л

Номер участка	Плотный остаток	Сумма токсичных солей	Na^+	Ca^{++}	Mg^{++}	Cl^-	HCO_3^-	SO_4^{--}
			1976 г.					
1	5,51	3,91	0,599	0,474	0,446	0,478	0,243	3,333
2	4,18	2,01	0,347	0,483	0,196	0,149	0,073	2,416
3	3,07	1,80	0,324	0,313	0,188	0,320	0,127	1,541
4	3,33	1,59	0,257	0,480	0,150	0,119	0,085	2,049
5	4,79	3,45	0,505	0,372	0,399	0,391	0,089	2,911
			1978 г.					
1	2,97	2,13	0,364	0,273	0,223	0,324	0,118	1,761
2	2,81	1,61	0,287	0,278	0,157	0,252	0,105	1,500
3	2,71	1,70	0,308	0,278	0,161	0,230	0,099	1,589
4	3,19	1,77	0,271	0,482	0,207	0,306	0,198	1,749
5	4,95	3,38	0,426	0,412	0,430	0,348	0,124	3,067

В зависимости от продолжительности работы дренажа изменялся и водный режим почвы. На фоне влагозарядково-промывного полива влажность почвы на период появления всходов была близка к наименьшей влагоемкости (НВ). При удалении от скважины на 250—500 м она возрастала на 1—3% от массы почвы. Зона заметного снижения влажности почвы простиралась до 250 м. Разница в величинах влажности почвы при расстояниях 50 и 500 м составляла 2—4% при КПР 0,97, а при 0,24 и 0,5 — 1 и 2% от массы. Следует отметить, что вблизи скважин в маловодные и средние по осадкам годы имело место некоторое подсушивание почвы, но оно не достигало критического уровня и снабжение водой корнеобитаемого слоя происходило непрерывно. Снижение влажности почвы вблизи скважины связано с резким понижением уровня грунтовых вод, что отрицательно сказывалось на урожайности хлопчатника. С целью устранения этого процесса необходимо повышать поливные нормы вблизи скважин в среднем на 25%.

Благоприятный режим влажности почвы в годы с большим количеством осадков наблюдался при работе дренажа в течение 9 и 12 мес, а в сухие и средние годы — в течение 6 мес. При сокращении продолжительности работы скважин до 3 мес повышалась влажность почвы и переувлажнялись ее верхние слои.

В вегетационный период влажность почвы в оптимальных пределах поддерживалась поливами. Поливы проводились по схемам

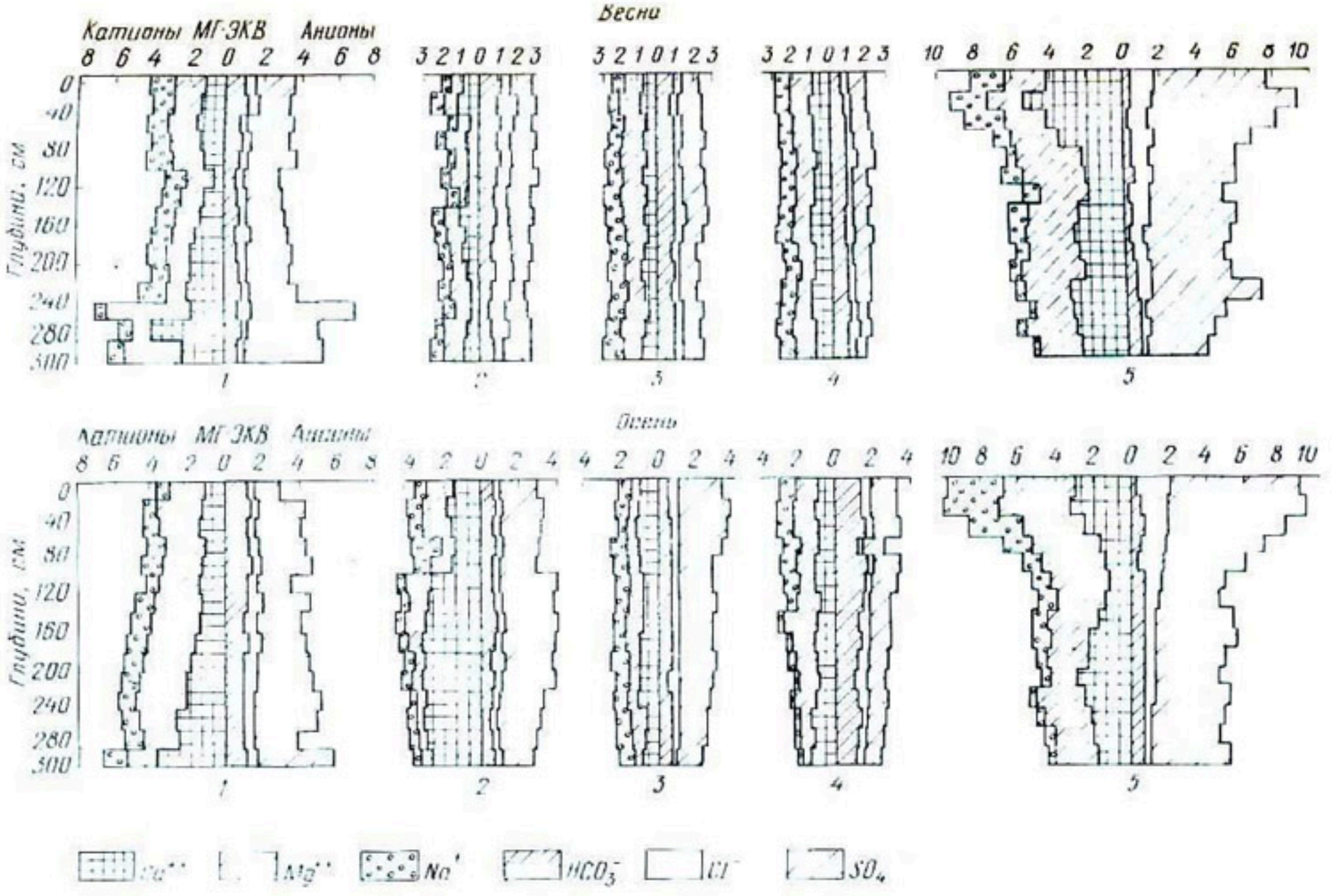


Рис. 15. Распределение водно-растворимых солей по профилю почвы в зависимости от сезона года и продолжительности работы скважины вертикального дренажа:

1 — работа в году 3 мес; *2* — 6 мес; *3* — 9 мес; *4* — 12 мес; *5* — контроль

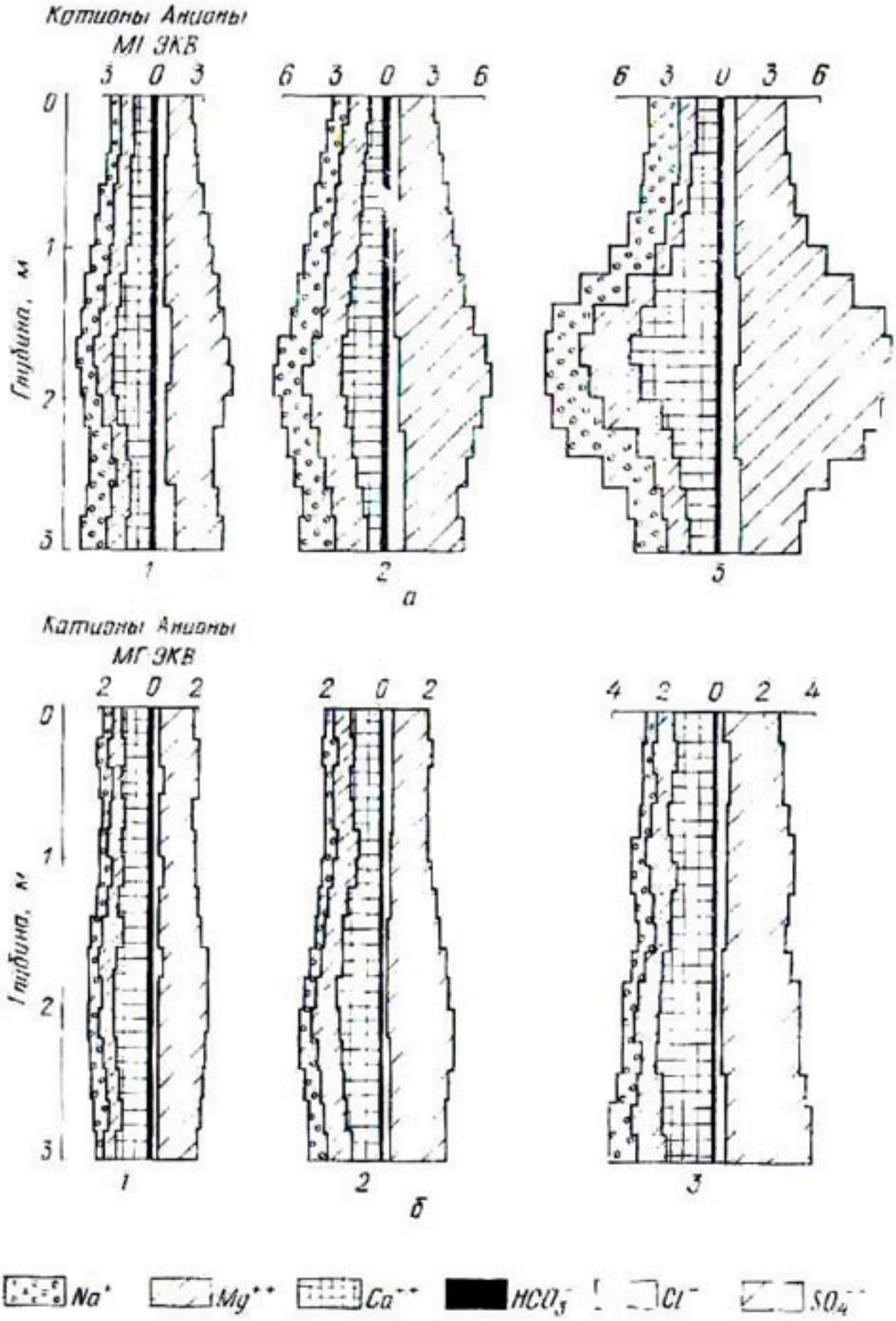


Рис. 16. Динамика водно-растворимых солей в зависимости от удаленности от скважины вертикального дренажа при различной продолжительности ее работы:

а — продолжительность работы дренажа 3 мес., *б* — продолжительность работы дренажа 12 мес.; *1* — 50 м от скважины, *2* — 250 м, *3* — 500 м

1—2—0 и 0—3—0. Оросительная норма при орошении дождеванием составила 1980—2440 м³/га (около 35% от суммарного водопотребления хлопчатника). Общая водоподача с учетом влагозарядково-промывного полива не превышала 5480—5940 м³/га.

Динамика солевого режима почвы находилась в тесной зависимости от действия скважин вертикального дренажа (рис. 15, 16). По мере сокращения продолжительности работы скважины, а также при большем удалении от нее содержание солей в слое почвы 0—300 см постепенно повышается, особенно ионов хлора и сульфата. Существенно меняется плотный остаток солей. На участке без дренажа содержание плотного остатка колебалось в пределах 0,6—1,0%, что характеризует исходную почву как среднезасоленную. На дренированных участках содержание солей снижается до 0,2—0,5% а почва становится слабозасоленной (рис. 17).

Сезонная динамика солей зависит от продолжительности работы дренажа. При недостаточной дренированности (участок № 5) содержание солей от весны к осени возрастало в 1,5 раза, в слое 0—100 см с 0,72 до 1,09% и в слое 100—200 см с 0,46 до 0,76%. При КПР 0,24 плотного остатка было меньше, чем на контроле: в слоях 0—100 и 100—200 см количество изменялось от 0,32 до 0,60% и от 0,60 до 0,58%. При КПР 0,49 содержание солей весной в слое почвогрунта 0—200 см колебалось от 0,29 до 0,41 а осенью — от 0,24 до 0,33% При КПР 0,74 плотный остаток был наименьшим: весной — 0,19—0,21 и осенью — 0,16—0,29% При круглогодичной эксплуатации дренажа вынос солей происходил по всему трехметровому слою. Наиболее четкая зависимость между продолжительностью действия дренажа и вымывом солей хорошо проявилась на расстоянии 50 м от скважины, с удалением от нее эффект постепенно снижался (см. рис. 17).

Наибольшая промытость почвы от натрия (0,01%) наблюдалась на втором участке. С удалением от скважины на 250 и 500 м отмечалась тенденция к некоторому повышению его содержания (до 0,02%). Заметное увеличение количества натрия наблюдалось на участке № 4 в осенний период (до 0,03—0,04) с понижением весной до 0,01—0,02%. На контрольном варианте в осенний период концентрация натрия достигала 0,06—0,07, а в весенний период снижалась до 0,03—0,04%. Наибольшее содержание сульфатов в почве наблюдалось на контроле и достигало в отдельные годы 0,7%. При работе дренажа в течение 6—12 мес происходило интенсивное перемещение сульфатов из верхних горизонтов почвы в нижние. Метровый слой постоянно выщелачивался (до 0,1—0,3%). Сокращение времени эксплуатации скважин до 3 мес привело к повышению содержания сульфатов до 0,3—0,4%.

Содержание хлоридов по участкам изменялось в пределах 0,005—0,052% (рис. 18). При 9-месячной работе дренажа содержание хлоридов в почве колебалось в пределах 0,005—0,015%. При уменьшении длительности работы скважин до 6 мес коли-

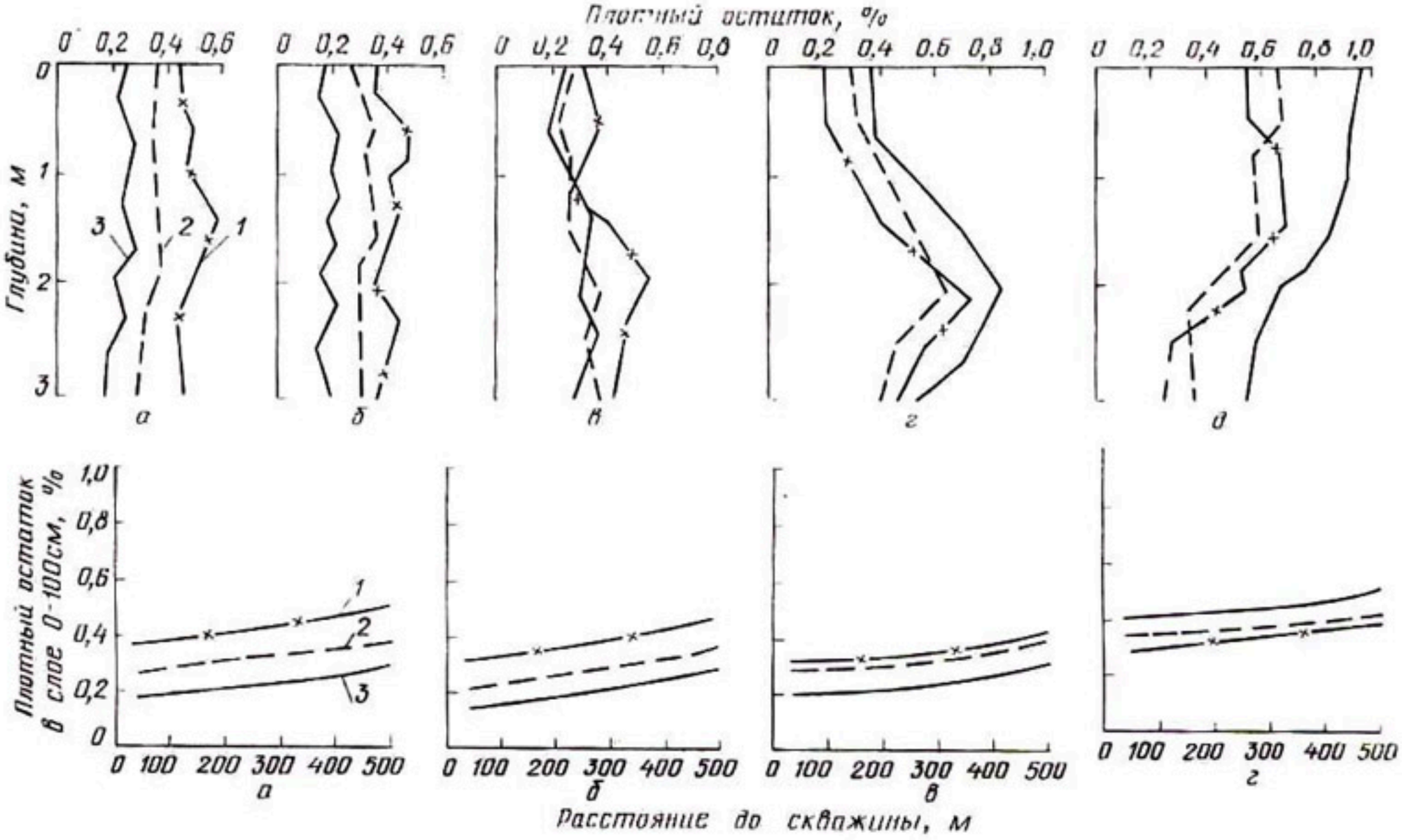


Рис. 17. Динамика плотного остатка солей при различных режимах работы вертикального дренажа:
а — работа скважины 12 мес, *б* — 9 мес, *в* — 6 мес, *г* — 3 мес, *д* — без скважины; *1* — 1976 г., *2* — 1977 г., *3* — 1978 г.

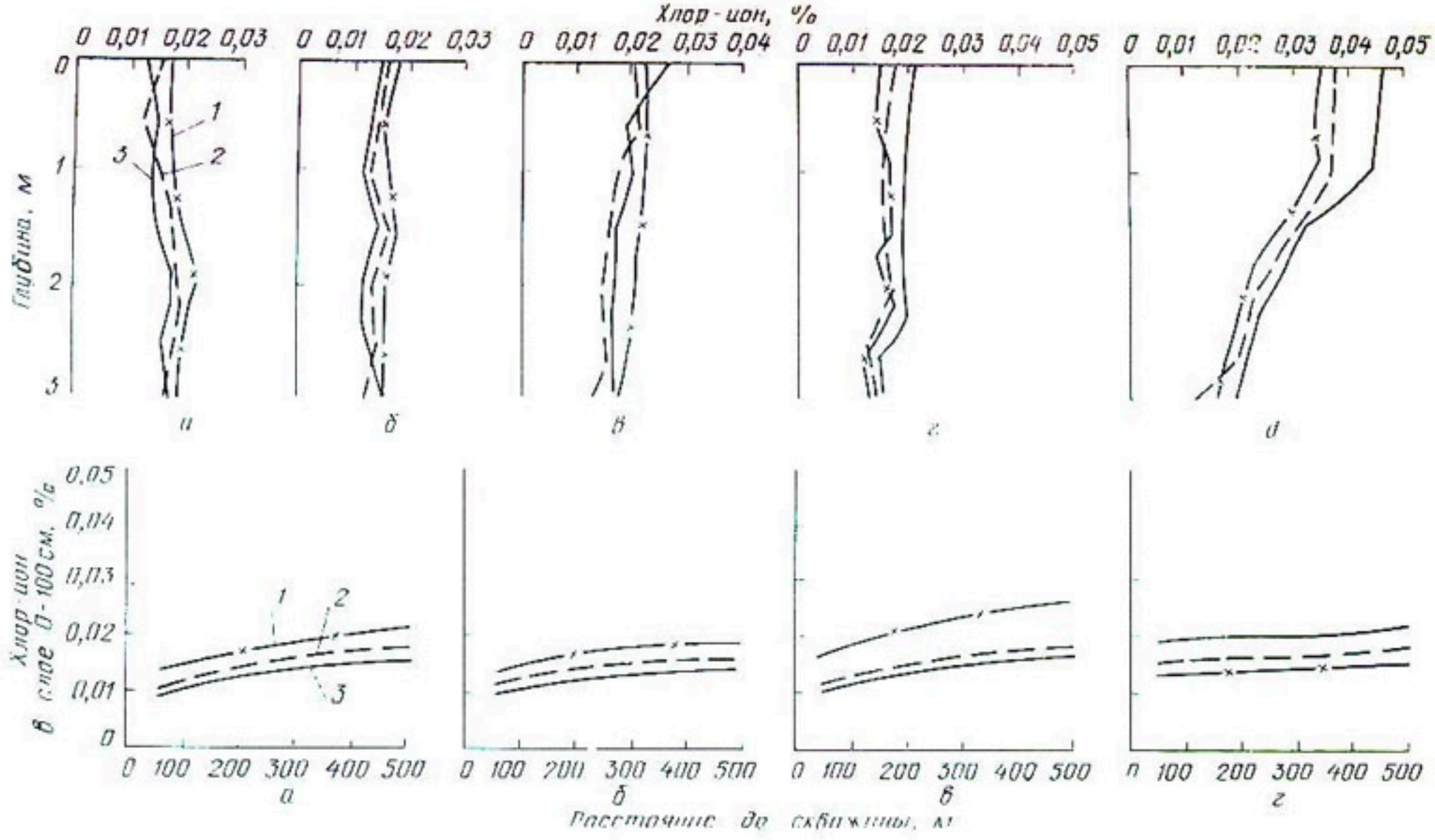


Рис. 18. Динамика хлор-иона при различных режимах работы вертикального дренажа:
а — работа скважин 12 мес, *б* — 9 мес, *в* — 6 мес, *г* — 3 мес, *д* — без дренажа; *1* — 1976 г., *2* — 1977 г., *3* — 1978 г.

чество хлоридов постепенно возрастало до 0,028%, а при КПР 0,24 — до 0.035—0,095%. В почве контроля концентрация в верхних слоях достигала 0,05—0.06%. Таким образом, только при работе дренажа в течение 9—12 мес не происходило накопления хлоридов в корнеобитаемом слое почвы.

Результаты пересчета ионов на токсичные слои показали, что почву опытных участков можно отнести к незасоленной и слабозасоленной и только в контроле — к слабо- и среднезасоленной (табл. 16, рис. 19). Динамика содержания токсичных солей в зависимости от продолжительности работы скважин вертикального дренажа аналогична сумме солей (плотного остатка).

Таблица 16

Содержание токсичных солей в верхнем метровом слое почвы в среднем за 1976—1978 гг., % от массы

Продолжительность работы скважины, мес	Сезон года	$Mg(HCO_3)_2$	$MgSO_4$	Na_2SO_4	NaCl	$MgCl_2$	Сумма
12	Весна	0,007	0,131	0,024	0,029	0	0,189
	Осень	0	0,097	0,047	0,032	0	0,176
9	Весна	0,010	0,065	0,019	0,027	0	0,121
	Осень	0	0,071	0,027	0,024	0	0,122
6	Весна	0,009	0,083	0,027	0,014	0,001	0,134
	Осень	0	0,083	0,025	0,028	0	0,136
3	Весна	0,002	0,082	0,048	0,028	0	0,161
	Осень	0	0,175	0,075	0,047	0	0,297
Без скважины	Весна	0	0,182	0,021	0,048	0	0,251
	Осень	0	0,299	0,124	0,048	0	0,471

Формирующийся водно-солевой режим почвы и грунтовых вод под воздействием работы скважин вертикального дренажа оказывал влияние на рост, развитие и урожайность хлопчатника. Оптимальные условия для роста, развития и накопления урожая хлопка-сырца создаются при работе дренажа в течение 6—12 мес. Сокращение времени работы скважины до 3 мес приводило к заметному торможению ростовых процессов, что отрицательно отражалось на накоплении плодоэлементов. Наихудшие условия были на участках с недостаточной дренированностью. Данные по урожайности хлопчатника (табл. 17, 18) показали, что в средние по метеорологическим условиям годы (1976—1977 гг.) целесообразна продолжительность эксплуатации скважин в течение 6 мес.

В неблагоприятные годы с чрезмерно большим количеством осадков весной (1978 г.) более эффективна работа дренажа в течение 9 мес. В этот год при 6-месячной работе урожай хлопка-сырца снизился на 0,48 т/га, или на 15,2% по сравнению с 9-ме-

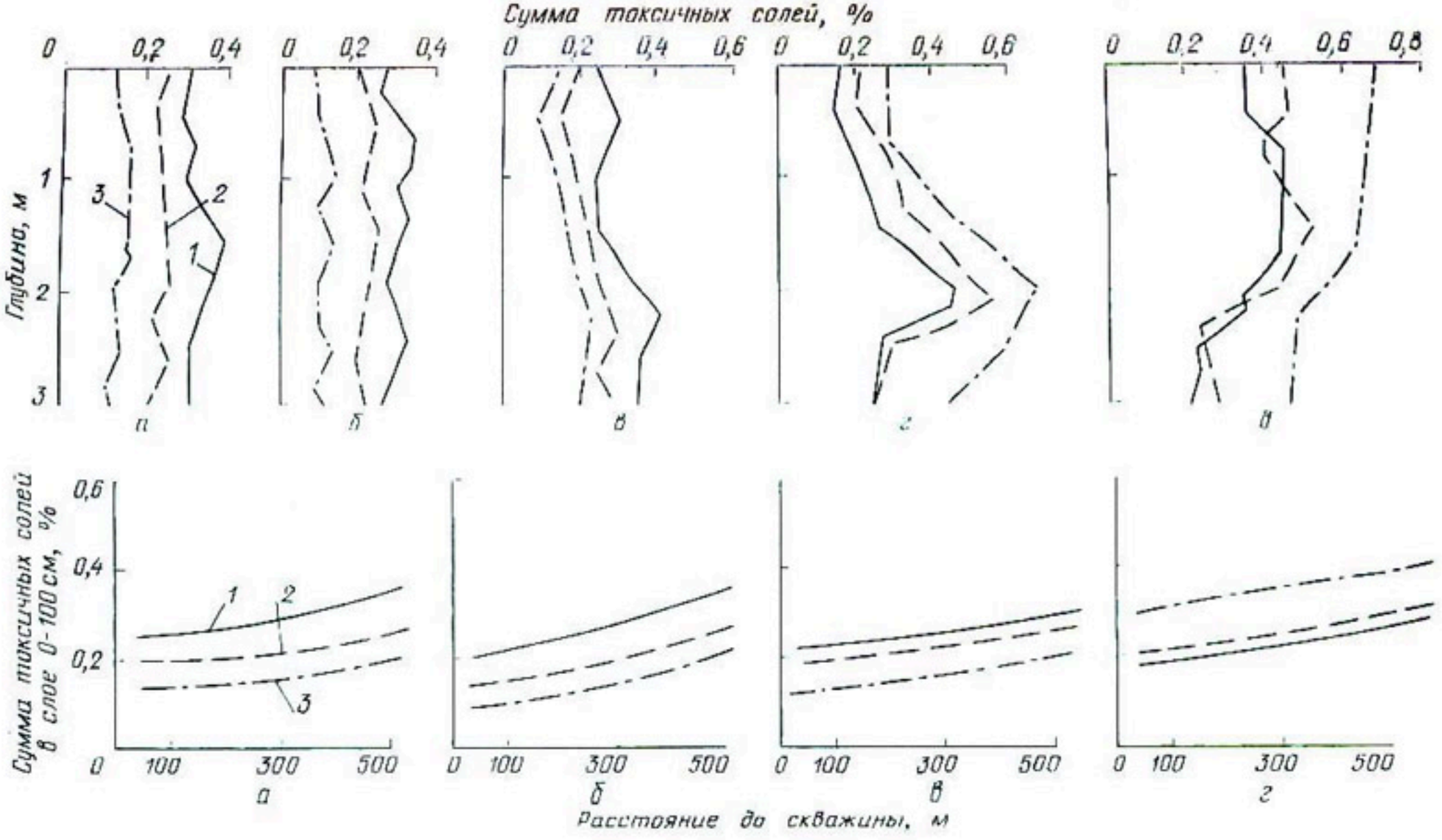


Рис. 19. Динамика токсичных солей при различных режимах работы вертикального дренажа:
а — работа скважин 12 мес, *б* — 9 мес, *в* — 6 мес, *г* — 3 мес, *д* — без скважины; *1* — 1976 г., *2* — 1977 г., *3* — 1978 г.

Таблица 17

Влияние продолжительности работы скважин вертикального дренажа на урожайность хлопка-сырца, т/га

Номер участка	Продолжительность работы скважины, мес	1976 г.	1977 г.	1978 г.	Среднее
1	12	4,32	4,15	3,22	3,90
2	9	4,29	4,19	3,15	3,88
3	6	4,25	4,14	2,67	3,69
4	3	3,87	3,75	1,86	3,16
5	Без скважины	3,52	3,48	1,61	2,87

Таблица 18

Урожайность хлопка-сырца на разном расстоянии от скважины вертикального дренажа, т/га

Продолжительность работы скважин, мес	Расстояние от скважины, м	1976 г.	1977 г.	1978 г.	Среднее
12	50	4,12	4,07	3,59	3,93
	250	4,38	4,16	3,21	3,93
	500	4,46	4,21	2,85	3,84
9	50	4,18	4,04	3,41	3,88
	250	4,32	4,26	3,18	3,92
	500	4,37	4,28	2,86	3,84
6	50	4,37	4,25	3,09	3,90
	250	4,25	4,14	2,53	3,64
	500	4,13	4,03	2,39	3,52
3	50	3,90	3,82	2,25	3,32
	250	3,87	3,75	1,57	3,06
	500	3,84	3,69	1,86	3,13

сячной работой скважины и на 0,55 т/га (17,1%) — с 12-месячной работой.

Экономическая эффективность разной продолжительности работы скважин вертикального дренажа определялась по формуле

$$УЧД = У \cdot (С_с - С_о) - (Эл + Р), \qquad (6)$$

где УЧД — удельный чистый доход от реализации хлопка, руб./га; У — урожайность хлопка-сырца, т/га; $С_с$ — средняя реализационная цена хлопка-сырца, руб./т; $С_о$ — издержки на производство хлопка-сырца, руб./т; Эл — стоимость электроэнергии,

затраченной на работу дренажа за год, руб./га; Р — затраты на эксплуатацию дренажа за год, руб./га.

Расход электроэнергии на одну скважину за 3 года составил 570 руб. при эксплуатации дренажа в течение 3 мес и 2360 руб.— при 12 мес. Затраты электроэнергии на 1 т хлопка-сырца в среднем по совхозу «Пахтаарал» были равны 1.9 руб./т. Затраты на эксплуатацию одной скважины вертикального дренажа в среднем по совхозу составили 1440 руб. при КПР скважины 0,38. Расчеты экономической эффективности показали, что наибольший чистый доход в неблагоприятные по метеорологическим условиям годы получен при 9-месячном режиме работы скважин вертикального дренажа, а в средние годы — при 6-месячной работе скважин.

На основании результатов исследований разработан и рекомендован оптимальный режим работы вертикального дренажа, обеспечивающий поддержание уровня грунтовых вод на глубине 2,6—2,8 м, обусловливающий устойчивое рассоление почвогрунтов в слое аэрации и повышение урожайности хлопчатника (табл. 19).

Таблица 19

Оптимальные режимы работы скважин вертикального дренажа и глубина залегания грунтовых вод (Q = 55 л/с, F = 175 га)

Месяц	Продолжительность работы скважин, сут		Уровень грунтовых вод, м		Модуль дренажного стока, л/с с 1 га	
	Благоприятные и средние годы	Неблагоприятные годы	Благоприятные и средние годы	Неблагоприятные годы	Благоприятные и средние годы	Неблагоприятные годы
I	24	28	1,85	1,98	0,243	0,284
II	22	26	1,80	1,92	0,247	0,292
III	24	26	1,93	2,12	0,243	0,263
IV	20	25	2,25	2,39	0,209	0,262
V	18	24	2,55	2,62	0,182	0,243
VI	0	15	2,63	2,81	0	0,157
VII	12	26	3,07	3,12	0,122	0,263
VIII	12	24	3,20	3,38	0,128	0,243
IX	7	18	3,50	3,85	0,073	0,188
X	0	10	3,70	4,02	0	0,101
XI	20	23	2,90	3,21	0,209	0,241
XII	24	28	2,20	2,43	0,243	0,284
За год	183	273	2,63	2,82	0,158	0,235

Вертикальный дренаж в Голодной степи получил развитие при мелиорации как староорошаемых, так и новоорошаемых земель. По данным Н. М. Решеткиной и Х. И. Якубова (1978), на начало 1976 г. на площади 573 тыс. га работало 1188 скважин вертикального дренажа. В Голодной степи на площади

185 тыс. га УзССР эксплуатировалось 747 скважин, а на площади 153 тыс. га КазССР — 676. Только при мелиорации староорошаемых земель Сырдарьинской области на площади 185 тыс. га введено в эксплуатацию 778 скважин (Духовный, Якубов, 1983). Подавляющая часть скважин построена в 1964—1975 гг. За период действия систем вертикального дренажа повсеместно достигнуто улучшение мелиоративного состояния орошаемых земель. Результаты солевых съемов земель совхоза «Пахтаарал» показали, что за период эксплуатации вертикального дренажа площади засоленных земель значительно сократились.

За период с 1965 по 1971 г. содержание солей в почвах было доведено до допустимых величин, произошло повсеместное выравнивание мелиоративного фона. Но результаты солевых съемок опытно-производственного участка, проведенных весной и осенью, подтверждают наличие сезонного соленакопления к концу вегетационного периода, особенно в последние годы. Это обстоятельство привело к увеличению площадей со среднезасоленными почвами за период с менее эффективной работой дренажа. В 1966—1970 гг., когда КПР дренажа в среднем составлял 0,6, среднезасоленные почвы в 1970 г. практически отсутствовали. Снижение годового КПР до 0,3—0,2 с 1975 г. привело к реставрации пространственного засоления. В 1983 г. площадь среднезасоленных почв на опытном участке достигла 12% (рис. 20). В целом по совхозу «Пахтаарал» площадь со среднезасоленными почвами в 1979 г. составляла 861 га, или 8,2%, в то время как в 1970 г. — 3,1%.

Интенсивность действия вертикального дренажа при прочих равных условиях зависит от гидрогеологической зоны. С целью изучения влияния различных гидрогеологических условий в 1967 г. на территории совхоза «Пахтаарал» были выделены орошаемые участки. Исследования проводились совместно с отделом мелиорации и орошения Пахтааральской опытной станции ВНИИ хлопководства. Данные по режиму работы скважин вертикального дренажа (среднее по 2—4 скважинам в каждом гидрогеологическом районе) представлены в табл. 20.

На фоне вертикального дренажа уровень грунтовых вод за вегетацию изменялся от 2,5 до 4,8 м в зависимости от естественной обеспеченности местного стока и продолжительности работы скважин (табл. 21).

Следует отметить, что до начала эксплуатации дренажа наиболее глубокое залегание грунтовых вод (268 см) наблюдалось в условиях хорошего естественного оттока. При слабообеспеченном стоке уровень грунтовых вод был ближе к поверхности на 59 см, а при необеспеченном стоке — на 87 см. В период эксплуатации дренажа условия естественной дренированности сказывались на динамике уровня грунтовых вод, хотя и в меньшей степени, чем до строительства вертикального дренажа. Так, в среднем за 1970—1972 гг. естественная дренированность дополнитель-

Таблица 20

Коэффициент полезной работы дренажа в 1967—1984 гг.

Гидрогеологический район	1967—1969 гг.	1970—1972 гг.	1973—1975 гг.	1976—1978 гг.	1979—1981 гг.	1982—1984 гг.
Необеспеченный подземный сток	0,69 / 0,62	0,62 / 0,53	0,46 / 0,40	0,41 / 0,33	0,38 / 0,35	0,35 / 0,31
Слабообеспеченный сток	0,70 / 0,63	0,60 / 0,52	0,44 / 0,39	0,40 / 0,32	0,39 / 0,32	0,34 / 0,29
Обеспеченный сток	0,59 / 0,46	0,52 / 0,43	0,42 / 0,38	0,38 / 0,31	0,36 / 0,30	0,33 / 0,28

Примечание. В числителе — в среднем за год, в знаменателе — в среднем за апрель—сентябрь.

Таблица 21

Динамика уровня грунтовых вод за вегетационный период в зависимости от гидрогеологических условий, м

Гидрогеологический район	1965 г. (исходные данные)	1967—1969 гг.	1970—1972 гг.	1973—1975 гг.	1976—1978 гг.	1979—1981 гг.	1982—1984 гг.
Необеспеченный сток	1,81	2,88	3,02	2,76	2,61	2,59	2,47
Слабообеспеченный сток	2,09	2,97	3,13	2,91	2,85	2,68	2,59
Обеспеченный отток	2,68	3,13	3,39	3,22	3,08	3,04	2,92

но к вертикальному дренажу понижала уровень грунтовых вод только на 37 см. Это влияние наблюдалось и в последующие годы.

Через 6 лет эксплуатации дренажа (1970—1972 гг.) при среднем КПР 0,52—0,62 грунтовые воды находились на глубине 3,02—3,39 м. Этим самым обеспечивался полуавтоморфный мелиоративный режим. Снижение КПР в последующие годы эксплуатации дренажа повлекло за собой повышение зеркала грунтовых вод. В 1979—1984 гг. грунтовые воды залегали в среднем на глубине 2,53; 2,64 и 2,98 м соответственно при необеспеченном, слабообеспеченном и обеспеченном местном стоке (КПР 0,33—0,39). Снижение годового КПР до 0,25—0,29 повлекло за собой повышение уровня грунтовых вод на 30—60 см. Следовательно, при невысоких КПР обеспечивается только полугидроморфный режим увлажнения и лишь при обеспеченном оттоке — полуавтоморфный.

Степень естественной дренированности территории и режим работы вертикального дренажа оказывали заметное влияние на минерализацию грунтовых вод (табл. 22). В условиях необеспе-

Таблица 22

Минерализация грунтовых вод за вегетационный период в зависимости от гидрогеологических условий, г/л

Гидрогеологический район	1965 г. (исходные данные)	1967—1969 гг.	1970—1972 гг.	1973—1975 гг.	1976—1978 гг.	1979—1981 гг.	1982—1984 гг.
Необеспеченный сток	7,865	6,141	5,057	4,634	3,834	3,769	4,278
	0,847	0,616	0,482	0,469	0,457	0,466	0,495
Слабообеспеченный сток	6,842	5,705	5,034	4,452	4,018	3,872	4,242
	0,621	0,552	0,467	0,443	0,395	0,366	0,424
Обеспеченный сток	3,414	3,303	3,186	3,017	2,867	3,004	3,012
	0,283	0,269	0,221	0,236	0,245	0,253	0,244

Примечание. Числитель — плотный остаток, знаменатель — хлор-ион.

ченного местного оттока до начала эксплуатации дренажа минерализация грунтовых вод была выше в 2,3 раза по плотному остатку и 3,0 раза — по хлор-иону по сравнению с обеспеченным оттоком. Под действием дренажа в первые годы (1967—1972 гг.) опреснение грунтовых вод проявилось во всех гидрогеологических районах и особенно заметно в условиях необеспеченного стока. В последующие годы (1976—1981 гг.) работы дренажа минерализация грунтовых вод снижалась в небольших размерах при меньшей интенсивности полезной работы дренажа. Их минерализация составляла 3,00—3,87 г/л по плотному остатку и 0,25—0,44 г/л по хлор-иону. Ухудшение работы дренажа в 1982—1984 гг. привело к повышению минерализации грунтовых вод на 10—15%, за исключением зоны с обеспеченным естественным оттоком грунтовых вод.

Гидрогеологические условия оказывали определенное влияние и на рассоление почвы (табл. 23). Содержание солей до ввода в эксплуатацию скважин вертикального дренажа в районах с необеспеченным и слабообеспеченным подземным оттоком в слое 0—100 см изменялось в пределах 0,648—0,746% по плотному остатку и 0,034—0,038% по хлор-иону. В районе с обеспеченным оттоком солей содержалось меньше примерно в 1,7—1,8 раза, а хлора в 2 раза. Почвогрунты в первом и втором районах были среднезасоленными, а в третьем — слабозасоленными. С учетом различий в степени засоления промывные поливы проводились дифференцированными нормами. На среднезасоленных почвах в первые два года промывка проводилась нормой 5000 м³/га, а в последующие годы — 2500—3500 м³/га, а на слабозасоленных почвах — в среднем 3000 м³/га. Это позволило опреснить среднезасоленные почвы до слабозасоленных, а в районе с обеспеченным

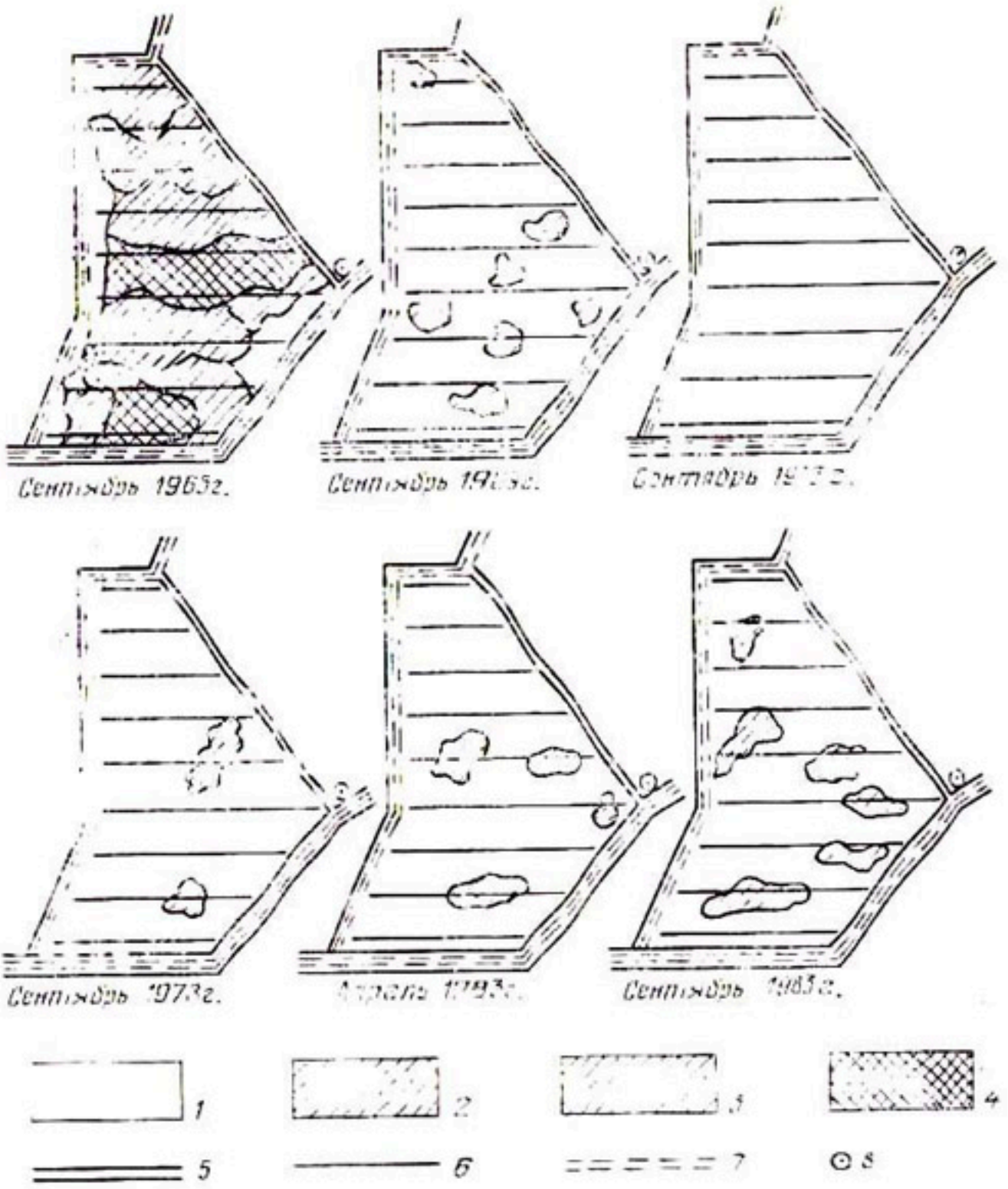


Рис. 20 Карта засоленности земель отвода 33 новый отделения им. Ильича совхоза «Пахтаарал»:

1 — незасоленные и слабозасоленные; *2* — среднезасоленные; *3* — сильнозасоленные; *4* — солончаки; *5* — групповой ороситель; *6* — временный ороситель; *7* — коллектор; *8* — скважина

оттоком грунтовых вод до допустимого предела. Спустя 5—6 лет эксплуатации вертикального дренажа в районах с необеспеченным и слабообеспеченным естественным подземным стоком произошло рассоление всей трехметровой толщи почвогрунта. На фоне обеспеченного естественного стока изменение в содержании солей происходило в меньших размерах, так как почвы в исходном состоянии характеризовались малым количеством солей.

Таблица 23

Содержание водно-растворимых солей в почве за вегетационный период в зависимости от гидрогеологических условий, %

Гидрогеологический район	Слой почвы, см	1965 г. (исходные данные)	1967—1969 гг.	1970—1972 гг.	1973—1975 гг.	1976—1978 гг.	1979—1981 гг.	1982—1984 гг.
Необеспеченный сток	0—100	0,746 / 0,038	0,493 / 0,028	0,372 / 0,019	0,304 / 0,013	0,316 / 0,015	0,335 / 0,017	0,379 / 0,019
	0—300	0,803 / 0,047	0,612 / 0,037	0,483 / 0,026	0,416 / 0,021	0,384 / 0,017	0,399 / 0,018	0,402 / 0,020
Слабообеспеченный сток	0—100	0,648 / 0,034	0,386 / 0,026	0,314 / 0,017	0,261 / 0,012	0,276 / 0,013	0,288 / 0,014	0,304 / 0,016
	0—300	0,718 / 0,044	0,454 / 0,032	0,376 / 0,024	0,325 / 0,019	0,342 / 0,018	0,363 / 0,019	0,385 / 0,020
Обеспеченный сток	0—100	0,395 / 0,017	0,322 / 0,015	0,263 / 0,013	0,251 / 0,012	0,255 / 0,012	0,268 / 0,012	0,284 / 0,013
	0—300	0,456 / 0,024	0,398 / 0,021	0,295 / 0,016	0,277 / 0,014	0,284 / 0,014	0,295 / 0,015	0,302 / 0,015

Примечание. Числитель — плотный остаток, знаменатель — хлор-ион.

Следовательно, для рассоления почв продолжительность работы дренажа в течение года должна быть дифференцирована в зависимости от естественной дренированности. В районах со слабым естественным оттоком или его отсутствием вертикальный дренаж должен работать более интенсивно.

Анализ данных за 1984—1986 гг. показал, что в условиях естественного оттока при работе вертикального дренажа в течение 6 мес в году создается полуавтоморфный мелиоративный режим с глубиной залегания грунтовых вод 3,5 м. Когда создается равновесие между притоком и оттоком грунтовых вод, дренаж должен эксплуатироваться 7 мес в году, чтобы обеспечить полугидроморфный мелиоративный режим со снижением уровня грунтовых вод до 2,7—2,8 м на протяжении вегетации. В случае преобладания притока грунтовых вод работа должна быть более продолжительной.

В целом на фоне рациональной эксплуатации вертикального дренажа обеспечивался оптимальный водно-солевой режим почв и было достигнуто снижение затрат промывной воды в среднем на 20%.

ВОДНО-СОЛЕВОЙ РЕЖИМ ПОЧВ НА ФОНЕ ГОРИЗОНТАЛЬНОГО ДРЕНАЖА

В зоне орошаемых почв, развитых на слоистых суглинистых и глинистых отложениях, в литологическом строении которых отсутствует мощный песчано-галечниковый слой, эффективным является закрытый горизонтальный дренаж (Малыгин, 1939; Бесednов, 1958; Ковда, 1958; Аверьянов, 1959; Легостаев, 1966; Гребенников, 1968; Егоров, 1971; Еременко, 1975; Духовный и др., 1979). Изучение действия построенного закрытого горизонтального дренажа проводилось на землях совхоза «Ташкент» Мирзачульского района Джизакской области в 1973—1978 гг. Дренаж выполнен из керамических труб диаметром 10 см, уложенных на глубину 2,8—3,1 м с междренными расстояниями 90, 180 и 270 м. Удельная протяженность дренажа по участку соответственно составляла 111; 55,5 и 37 пог. м на 1 га. Собираемая дренами вода сбрасывалась через устьевые асбестоцементные трубы в открытый коллектор глубиной около 4 м. Расстояние между открытыми коллекторами — 800 м, состояние их было удовлетворительное.

Почвы участков по механическому составу относятся к средним суглинкам однородного сложения. Коэффициент фильтрации составлял 0,12—0,32 м/сут. Наблюдения за скоростью фильтрации на постоянных площадках (чеках) при различном удалении от дрены показали, что в центре междрений величина фильтрации несколько меньше, чем вблизи. Высокие показатели коэффициента фильтрации зафиксированы на расстоянии до 30—50 м от дрены, обусловленные и более глубоким залеганием грунтовых вод. Объемная масса почвы по профилю изменялась от 1,34 до 1,42 г/см^3, НВ составляла 20—22%, порозность — 47—51%.

В первые три года исследований (1973—1975 гг.) влагозарядково-промывные поливы не проводились, поэтому дрены действовали лишь в период вегетационных поливов. В последующие годы (1976—1978 гг.) ежегодно осуществляли эксплуатационную промывку нормой 3000—3200 м^3/га, что позволило увеличить нагрузку на дренаж и повысить его рассоляющий эффект. О действии дренажа можно судить по величине модуля дренажного стока (табл. 24). Фактические значения оказались в пределах проектных величин. В зависимости от дренированности участков средний модуль стока по годам наблюдений за июнь—сентябрь изменялся в пределах 0,068—0,099 при междренном расстоянии 90 м; 0,038—0,059 — при расстоянии 180 м и 0,011—0,026 л/с с 1 га — при 270 м. Максимальные значения модуля дренажного стока в оросительный период достигали 0,5 л/с с 1 га. В период проведения эксплуатационной промывки модули дренажного стока были выше, чем в вегетационный период в 1,2—4 раза. Средние их значения за январь—апрель 1976—1978 гг. составляли: 0,084—0,131 — при междренном расстоянии 90 м; 0,063—0,097 — при 180 м и 0,047—0,068 л/с с 1 га — при 270 м. Причем

Таблица 24

Модуль дренажного стока, л/с с 1 га

Год	Период наблюдений, мес	Расстояние между дренами, м					
		90		180		270	
		Средний	Максимальный	Средний	Максимальный	Средний	Максимальный
1973	VI—IX	0,099	0,498	0,059	0,357	0,026	0,285
1974	VI—IX	0,084	0,462	0,047	0,333	0,019	0,243
1975	VI—IX	0,073	0,425	0,038	0,309	0,012	0,177
	I—IV	0,084	0,518	0,063	0,414	0,050	0,341
1976	VI—IX	0,073	0,413	0,041	0,307	0,011	0,165
	I—IV	0,085	0,606	0,065	0,342	0,047	0,306
1977	VI—IX	0,072	0,421	0,038	0,318	0,015	0,197
	I—IV	0,131	0,797	0,097	0,525	0,068	0,388
1978	VI—IX	0,068	0,396	0,042	0,305	0,015	0,199

максимальные модули дренажного стока при более густой дренажной сети доходили до 0,6—0,8 л/с с 1 га. Следовательно, при частом дренаже отвод избыточных вод был в 2—3 раза и более интенсивнее, чем при более редком расположении дрен.

Модуль дренажного стока зависит от режима орошения. В первые три года исследований поливы хлопчатника проводились по схеме 1—3—0, поливными нормами в первый год 1200—1500 м³/га и оросительной нормой 5700 м³/га, во второй и третий годы соответственно 1100—1400 и 5300; 1100—1300 и 5000 м³/га. Поэтому объем дренажного стока и соответственно количество солей, удаляемых за пределы опытных участков, постепенно снижались. В период 1976—1978 гг. проводился влагозарядково-промывной полив нормами 3000 м³/га (1976—1977 гг.) и 3200 м³/га (1978 г.). При этом в вегетационный период поливы подавались по схеме 1—2—1 (1976 г.), 1—3—0 (1977 г.) и 1—2—0 (1978 г.). В 1976—1977 гг. поливные нормы составляли 1100—1300 м³/га и оросительная норма — 4900 м³/га, а в 1978 г. — 1200—1500 и 4200 м³/га соответственно. В эти годы тенденция в уменьшении модуля дренажного стока в связи со снижением водоподачи оставалась аналогичной.

Степень минерализации отводимой дренажной воды непостоянная по годам и периодам наблюдений. Она была наибольшей в период проведения промывки, уменьшалась в период проведения поливов, а в период между поливами и с прекращением последних возрастала. Минимальное содержание ион-хлора в дренажной воде составляло 0,82, максимальное — 3,30 г/л, соответственно содержание плотного остатка — 7,3 и 31,2 г/л. Содержание солей в дренажной воде по мере опреснения почв постепенно снижалось. При увеличении расстояний между дренами с

90 до 270 м минерализация дренажного стока повышалась в 1.3—1.6 раза вследствие большей концентрации солей в почвенном растворе (табл. 25).

Таблица 25

Минерализация дренажного стока, г/л

Год	Период определения, мес	Расстояние между дренами, м					
		90		180		270	
		Хлор-ион	Плотный остаток	Хлор-ион	Плотный остаток	Хлор-ион	Плотный остаток
1973	VI—IX	1,44	12,56	1,75	14,83	2,55	16,79
1974	VI—IX	1,47	13,33	1,83	17,04	2,03	17,77
1975	VI—IX	1,43	13,51	1,97	17,77	3,03	18,18
1976	I—IV	1,47	19,05	2,69	23,32	3,06	28,30
	VI—IX	1,29	11,50	1,69	14,45	2,61	19,12
1977	I—IV	1,23	11,59	1,47	13,66	1,81	16,27
	VI—IX	1,05	9,34	1,24	11,69	1,90	13,29
1978	I—IV	1,01	11,47	1,27	12,49	1,81	14,92
	VI—IX	0,97	9,17	1,14	9,77	1,87	13,13

Объем отводимой воды коллекторно-дренажной сетью за июнь—сентябрь по участкам с расстояниями между дренами 90, 180 и 270 м соответственно составил 15,1—18,3%; 8,1—11 и 2,3—4,8% от поданного количества ее за оросительный период (табл. 26).

Таблица 26

Объем дренажного стока

Год	Период определения, мес	Расстояние между дренами, м					
		90		180		270	
		м³/га	% от поливной воды	м³/га	% от поливной воды	м³/га	% от поливной воды
1973	VI—IX	1043	18,3	627	11,0	274	4,8
1974	VI—IX	885	16,7	493	9,3	197	3,7
1975	VI—IX	770	15,4	405	8,1	132	2,6
1976	I—IV	882	29,4	669	22,3	523	17,4
	VI—IX	774	15,8	429	8,8	115	2,3
1977	I—IV	897	29,9	681	22,7	498	16,6
	VI—IX	760	15,1	402	8,2	158	3,2
1978	I—IV	1386	43,1	1025	32,0	717	22,4
	VI—IX	720	17,1	440	10,5	160	3,8

В годы проведения промывки почвы (1976—1978 гг.) за январь—апрель дренажем было отведено в 2—3 раза больше воды, чем за оросительный период. При расстоянии между дренами 90 м объем дренажного стока составил 29,4—43,3%, при 180 м — 22,3—32 и 270 м 16,6—17,4% от промывной нормы. Здесь кроме поливной воды отводилась также часть осадков, выпадающих за зимне-весенний период. Таким образом, при расстоянии между дренами 270 м отводился небольшой объем соленых вод. В оросительный период одна часть поливной нормы аккумулировалась в зоне аэрации, а другая шла на подъем уровня грунтовых вод и затем расходовалась на эвапотранспирацию. С уменьшением расстояний между дренами в 3 раза (с 270 до 90 м) объем дренажного стока увеличивался примерно в 4 раза в летне-осенний период и 1,8 раза в зимне-весенний. При междренном расстоянии 90 м объем отводимой воды в среднем составил 825 и 1055 м³/га, или 16,5 и 34,3% от фактически поданной нормы соответственно при вегетационных поливах и промывке.

За период вегетационных поливов из верхнего метрового слоя почвы дренажем ежегодно отводилось 6,6—13,1 т/га плотного остатка при удельной протяженности дрен 110 пог. м на 1 га и 4,3—9,3 т/га — при 55 м на 1 га. Вынос солей вместе с дренажной водой за июнь—сентябрь при междренном расстоянии 270 м был наименьшим и составлял 0,3—0,7 т/га по хлор-иону и 2,1—4,6 т/га по плотному остатку. Здесь по сравнению с междренным расстоянием 180 м солей было отведено в 1,7 и 2 раза меньше соответственно по хлор-иону и плотному остатку, а с расстоянием 90 м — в 2,2 раза меньше по хлор-иону и 3 раза по плотному остатку (табл. 27). В результате длительного действия дренажа в условиях орошения происходит постепенное снижение выноса солей с дренажной водой, что указывает на прогрессирующее засоление почв, особенно при густой сети дрен (90—180 м).

В промывной период вынос солей с дренажным стоком был в 2—2,5 раза больше, чем в вегетационный при расстоянии между дренами 90—180 м и в 4—6,7 раза больше — при 270 м. Это свидетельствует об интенсивном растворении и выносе солей при промывке в сочетании с осадками. В среднем за 1976—1978 гг. вымывалось солей 21,9 т/га при расстоянии между дренами 90 м; 17,6 — при 180 м и 13,3 т/га — при 270 м.

Режим грунтовых вод на фоне дренажа зависит главным образом от режима орошения. В период проведения поливов грунтовые воды поднимаются выше допустимого критического уровня, с прекращением поливов уровень их опускается до глубины заложения закрытого дренажа и даже несколько глубже. На фоне влагозарядково-промывного полива грунтовые воды поднимались ближе к поверхности земли (табл. 28).

В силу гидродинамического распределения грунтовых вод происходит их больший подъем с удалением от дрены. Режим грунтовых вод зависит также от эффективности работы дренажа. В среднем за первые 3 года наблюдений уровень грунтовых

Таблица 27

Количество солей, отведенных дренажей, т/га

Год	Период определения, мес	Расстояние между дренами, м					
		90		180		270	
		Хлор-ион	Плотный остаток	Хлор-ион	Плотный остаток	Хлор-ион	Плотный остаток
1973	VI—IX	1,5	13,1	1,1	9,3	0,7	4,6
1974	VI—IX	1,3	11,8	0,9	8,4	0,4	3,5
1975	VI—IX	1,1	10,4	0,8	7,2	0,4	2,4
1976	I—IV	1,3	16,8	1,8	15,6	1,6	14,8
	VI—IX	1,0	8,9	0,7	6,2	0,3	2,2
	Итого	2,3	25,7	2,5	21,8	1,9	17,0
1977	I—IV	1,1	10,4	1,0	9,3	0,9	8,1
	VI—IX	0,8	7,1	0,5	4,7	0,3	2,1
	Итого	1,9	17,5	1,5	14,0	1,2	10,2
1978	I—IV	1,4	15,9	1,3	12,8	1,3	10,7
	VI—IX	0,7	6,6	0,5	4,3	0,3	2,1
	Итого	2,1	22,5	1,8	17,1	1,6	12,8

Таблица 28

Глубина грунтовых вод на участках с различной дренированностью, м

Расстояние между дренами, м	Месяц вегетации	Без влагозарядково-промывного полива			На фоне влагозарядково-промывного полива		
		1973 г.	1974 г.	1975 г.	1976 г.	1977 г.	1978 г.
90	VI	3,20	3,13	3,33	2,86	2,81	2,75
	VII	2,61	2,47	3,42	2,58	2,49	2,43
	VIII	2,52	2,38	3,20	2,53	2,44	2,40
	IX	2,93	2,74	3,73	2,95	2,93	2,88
	среднее	2,82	2,66	3,42	2,73	2,67	2,62
180	VI	2,95	2,89	3,24	2,82	2,76	2,73
	VII	2,60	2,60	3,14	2,55	2,45	2,39
	VIII	2,50	2,56	3,02	2,52	2,47	2,42
	IX	3,03	2,96	3,55	2,89	2,86	2,82
	среднее	2,77	2,75	3,24	2,70	2,64	2,59
270	VI	2,86	2,86	3,18	2,82	2,77	2,75
	VII	2,47	2,51	3,15	2,50	2,39	2,34
	VIII	2,45	2,37	3,07	2,44	2,35	2,29
	IX	2,88	2,82	3,36	2,84	2,86	2,77
	среднее	2,67	2,61	3,19	2,65	2,59	2,54

вод за июнь—сентябрь при расстоянии между дренами 90 м составил 2,97 м, а при 180 см — 2,92 и 270 м — 2,82 м. На фоне промывки (1976—1978 гг.) грунтовые воды залегали ближе к поверхности в среднем на 0,3; 0,28 и 0,23 м соответственно с междренными расстояниями 90, 180 и 270 м.

Минерализация грунтовой воды изменялась в пределах 10—18 и 1,0—3,9 г/л соответственно по плотному остатку и хлор-иону. По годам исследований наблюдалось снижение степени минерализации грунтовой воды. На третий год исследований (1975 г.) при расстоянии между дренами 90 м она составляла в среднем 1,3 г/л по хлор-иону и 13,7 г/л по плотному остатку, при расстоянии 180 м — соответственно 1,4 и 14,5 г/л и при 270 м — 1,5 и 15,6 г/л. На фоне промывки происходило большее опреснение верхней «подушки» грунтовых вод. При расстояниях между дренами 90 и 180 м в 1978 г. минерализация грунтовых вод снизилась до 10 г/л, а при расстоянии 270 м — до 13 г/л по плотному остатку.

Содержание солей в верхнем метровом слое почвы в условиях отсутствия влагозарядково-промывных поливов неуклонно возрастало. Наиболее интенсивно процессы соленакопления протекали при разреженной сети дрен. Если до освоения целины содержание солей составляло 0,162—0,185% от массы, или 22—25 т/га по плотному остатку и 0,008—0,009%, или 1,1—1,2 т/га по хлор-иону, то на 3—5-й годы распашки целины содержание солей плотного остатка возросло в 2—3 раза. Засоление почв было меньше при расстояниях между дренами 90 м (табл. 29), где

Таблица 29

Содержание солей в метровом слое почвы при различных расстояниях между дренами, %

Год	Период определения	Расстояние между дренами, м					
		90		180		270	
		Плотный остаток	Хлор-ион	Плотный остаток	Хлор-ион	Плотный остаток	Хлор-ион
1973	Весна	0,380	0,015	0,396	0,016	0,499	0,019
	Осень	0,385	0,016	0,438	0,020	0,583	0,027
1974	Весна	0,389	0,016	0,441	0,020	0,586	0,027
	Осень	0,409	0,019	0,495	0,025	0,679	0,037
1975	Весна	0,414	0,019	0,480	0,025	0,649	0,035
	Осень	0,428	0,021	0,512	0,029	0,709	0,041
1976	Весна	0,270	0,013	0,359	0,016	0,556	0,028
	Осень	0,304	0,017	0,419	0,023	0,667	0,037
1977	Весна	0,246	0,010	0,345	0,014	0,536	0,027
	Осень	0,308	0,017	0,427	0,022	0,680	0,040
1978	Весна	0,225	0,008	0,336	0,012	0,553	0,026
	Осень	0,291	0,015	0,424	0,022	0,664	0,035

больше было отведено дренажной воды. По сравнению с участком, где дрены расположены через 270 м, содержание солей по плотному остатку и хлор-иону в среднем было ниже в 1,3—1,5 и 1,3—1,7 раза.

При расстоянии между дренами 180 м воздействие дренажа на солевой режим почвы было примерно такое же, как и при расстоянии 90 м. В начале проведения исследований почва метрового слоя на участках с междренными расстояниями 90 и 180 м оставалась еще незасоленной и слабозасоленной, в то время как при расстоянии 270 м она перешла в категорию среднезасоленной. В среднем ежегодное накопление солей при отсутствии профилактических промывок составляло 4,6—10,2% по плотному остатку и 11,2—19,8% по хлор-иону. На период уборки хлопчатника в 1975 г. содержание хлор-иона при расстоянии между дренами 90 м соответствовало слабой степени засоления, при 180 м почвы еще оставались слабозасоленными, но приблизились к уровню среднего засоления. На участках с расстоянием 270 м между дренами почвы были среднезасоленными и процесс засоления активно усиливался. Ежегодное сезонное соленакопление, несмотря на вымывание солей во вневегетационный период за счет атмосферных осадков, привело к увеличению содержания солей в почве, что отрицательно сказалось на росте, развитии и урожайности хлопчатника. В этих условиях для ликвидации сезонной реставрации солей необходимо проводить профилактические промывки и в первую очередь на участках с большими расстояниями между дренами.

Данные показали, что на фоне промывных поливов нормой 3000—3200 м³/га происходило ежегодное рассоление. Причем при расстояниях между дренами 90 и 180 м почвы опреснялись до уровня незасоленных и слабозасоленных и содержание солей ежегодно снижалось. При расстоянии 270 м почвы оставались средне- и слабозасоленными. Вымыв солей в процессе промывки почвы был недостаточным, что приводило к ежегодному соленакоплению. В таких условиях необходимо проводить промывки большими нормами. О пространственном изменении содержания солей в почве при различных расстояниях между дренами в условиях промывки и без нее можно судить по картограмме засоления (рис. 21). Из этих данных следует, что при расстоянии 270 м среднезасоленные почвы осенью 1978 г. занимали 15%, в то время как при расстояниях 90 и 180 м почвы с таким уровнем засоления отсутствовали.

Данные солевого баланса почвы указывают на наличие подтока солей от грунтовых вод. При поступлении солей в почву вместе с оросительной водой от 3,4 до 4,6 т/га и выносе их дренажным стоком в количестве 2,1—13,1 т/га за вегетационный период из грунтовых вод ежегодно поступало 7—14 т/га солей плотного остатка. С увеличением расстояний между дренами от 90 до 270 м подток солей от грунтовых вод, как правило, возрастал на 2—4 т/га, или на 15—28%.

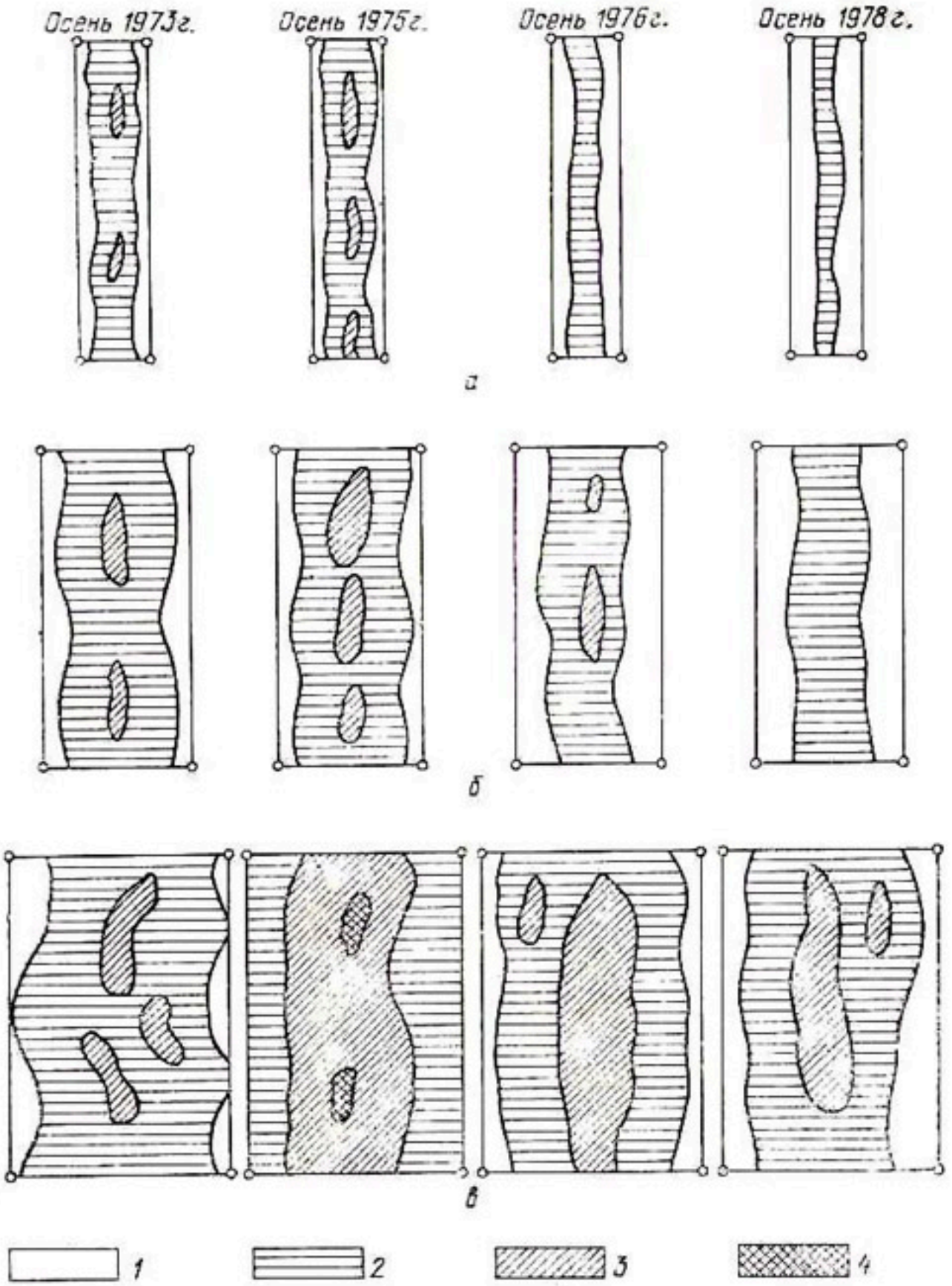


Рис. 21. Картограмма засоления почвы (0—100 см) по плотному остатку:

а — расстояние между дренами 90 м, *б* — 180 м, *в* — 270 м; *1* — незасоленные, *2* — слабозасоленные, *3* — среднезасоленные, *4* — сильнозасоленные

Данные по урожаю хлопка-сырца (табл. 30) показывают, что наиболее высокие его показатели были при расстояниях между дренами 90 и 180 м. Урожай хлопка-сырца на участках с расстоянием между дренами 90 и 180 м был выше в среднем на 0,7—0,8 ц/га, или на 26—28% по сравнению с урожаем на участке, где расстояние составляло 270 м.

Таблица 30

Урожайность хлопка при различных расстояниях между дренами по годам, т/га

Расстояние между дренами, м	1973 г.	1974 г.	1975 г.	1976 г.	1977 г.	1978 г.
90	2,83	2,76	2,48	3,05	2,94	2,77
180	2,77	2,58	2,23	2,98	2,91	2,73
270	2,24	2,05	1,87	2,07	1,78	2,01

Приведенные данные свидетельствуют о более эффективном горизонтальном дренаже с расстоянием 90 и 180 м. Исходя из особенностей сезонного засоления почв, формирования дренажного стока и урожая хлопчатника, расстояния между дренами в таких почвенно-мелиоративных условиях следует принимать 180 м. В других гидрогеологических и почвенно-мелиоративных условиях параметры дренажа изменяются.

Глава IIII

ПРОМЫВКА ЗАСОЛЕННЫХ ЗЕМЕЛЬ — ВАЖНЕЙШИЙ ФАКТОР РЕГУЛИРОВАНИЯ ВОДНОГО И СОЛЕВОГО РЕЖИМОВ ОРОШАЕМЫХ ПОЧВ

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРОМЫВОК В ЗОНЕ СТАРОГО И НОВОГО ОРОШЕНИЯ

Вопросу мелиоративной эффективности промывок для улучшения водно-солевого режима почв посвящены многочисленные исследования (Нерозин, 1957; Легостаев, 1959; Волобуев, 1960; Федоров, 1961, 1964; Рабочев, 1964; Егоров, 1967, 1972; Беспалов, 1980, 1981; Бобченко, 1981). При этом было выявлено изменение содержания солей в почвах при промывках, установлены промывные нормы в зависимости от характера засоления, степени дренированности, свойств почвы и других факторов.

Для расчета промывной нормы предложено много формул (Костяков, 1951; Розов, 1956; Аверьянов, 1965; Панин, 1968; Ми-

нашина, 1972; Рекс, 1972). Общим для большинства формул является то, что промывная норма слагается из двух величин — нормы насыщения, т. е. количества воды, необходимой для насыщения почвы до предельной полевой влагоемкости (наименьшей влагоемкости), и нормы вытеснения, т. е. количества воды, требуемой для вымыва избытка токсичных солей.

При капитальных промывках сильнозасоленных земель промывную норму обычно рассчитывают по формуле В. Р. Волобуева (1975)

$$N = 10000 \lg \left(\frac{S_1}{S_0}\right)^{\alpha}, \qquad (7)$$

где N — промывная норма; α — показатель солеудержания (0,62—3,30); S_1 — содержание солей в верхнем метровом слое почвы до промывки; S_0 — допустимое содержание солей в верхнем метровом слое почвы.

При этом промывные нормы следует устанавливать по допустимому содержанию токсичных солей и хлор-иона в слое почвы 0—100 см. Расчет промывной нормы при эксплуатационных промывках достаточно провести по содержанию хлор-иона. Наибольшее распространение получила формула А. Е. Нерозина (1957)

$$M = (P - m) + \frac{S}{K} - A + n, \qquad (8)$$

где M — промывная норма, м³/га; P — предельная полевая влагоемкость, м³/га; m — запас влаги в почве перед промывкой, м³/га; S — количество хлора, подлежащего вымыву, кг/га; K — коэффициент промывного действия воды (по хлору), кг/га на 1 м³ воды; A — осадки, поступающие в почву за период от начала промывки до сева, м³/га; n — потери воды на испарение за тот же период, м³/га.

Все чаще для расчетов промывной нормы используется уравнение движения солей, выведенное на основе законов физико-химической гидродинамики (Аверьянов, 1965)

$$\frac{\partial C}{\partial t} D^* \cdot \frac{d^2C}{dX^2} - V \frac{dC}{dX} + \beta (C_н - C), \qquad (9)$$

где $C = C(X, t)$ — содержание солей в точке X в момент времени t; D^* — коэффициент конвективной диффузии; V — скорость движения воды в порах грунта; $C_н$ — концентрация насыщения; β — коэффициент обмена.

Наиболее оптимальным сроком проведения профилактических промывок многие исследователи считают осенне-зимний период, когда грунтовые воды находятся на наибольшей глубине (Легостаев, 1959; Рабочев, 1967; Киселева, 1973; Спицын, Шуравилин, 1975; Беспалов, 1977). Нами в 1966—1970 гг. в совхозе «Пахтаарал» проведены специальные опыты по изучению эффективности осенних (ноябрь) и весенних (март) сроков промывки. Результаты опыта подтвердили ранее установленные положения о

необходимости проведения эксплуатационной промывки засоленных земель Голодной степи только в осенне-зимний период. В целом при весенней промывке вымыв солей происходит менее интенсивно, чем при осенней промывке. Урожай хлопка-сырца в среднем за 3 года при осенней промывке был на 0,32 т/га, или на 12,6% выше, чем при весенней.

До ввода в эксплуатацию вертикального дренажа в старорошаемой зоне Голодной степи значительные площади земель имели высокую степень засоления и близкое залегание минерализованных грунтовых вод. В связи с этим нами совместно с Н. М. Решеткиной и А. К. Спициным в совхозе «Пахтаарал» в течение 1965—1970 гг. были проведены исследования по изучению влияния разных норм промывок на рассоление различно засоленных земель и урожайность хлопчатника. Первый опытный участок площадью 51 га расположен на отводе 33н отделения им. Ильича, а второй участок площадью 93,7 га на отводе 34 отделения им. XXII партсъезда совхоза «Пахтаарал». По степени засоления почвы опытных участков относятся к средне- и сильнозасоленным. На первом опытном участке почвы в среднем в слое 0—100 см содержали 1,047% солей и 0,097% хлор-иона, на втором соответственно 0,610 и 0,064%. Тип засоления хлоридно-сульфатный. Сроки промывок — с 20 октября по 15 января. При норме не более 3,6 тыс. м³/га проводилась однократная промывка, при норме 5,5—5,8 тыс. м³/га — двухкратная и при норме 8,0 тыс. м³/га — трехкратная промывка.

На фоне вертикального дренажа при норме промывки 8,0 тыс. м³/га достигнуто интенсивное рассоление двухметровой толщи почвогрунтов. При этом в верхнем метровом слое содержание солей после первого года промывки снизилось на 54,6% по плотному остатку и на 69,1% по хлору. После второго года промывки нормой 5,8 тыс. м³/га произошло дальнейшее опреснение почвогрунтов в этом слое до 26,6% по плотному остатку и до 54,2% по хлору. Вынос солей из слоя 100—200 см составил 9,7 и 19,6% соответственно по плотному остатку и хлору. После третьего года промывки нормой 5,5 тыс. м³/га содержание солей в метровом слое доведено до 0,3—0,4% и хлор-иона до 0,014%. Следовательно, требуемое рассоление достигнуто после 3 лет промывки общей нормой 19,3 тыс. м³/га. В последующие два года при однократной промывке нормой 3—3,6 тыс. м³/га в двухметровой толще содержание солей уменьшилось по отношению к исходному на 7,5—9% по плотному остатку и на 13,5—34,2% по хлору, т. е. практически на величину сезонного соленакопления (табл. 31). На втором участке требуемое рассоление достигнуто после двухлетней промывки общей нормой 12,5 тыс. м³/га. Это обусловлено различием в исходной степени засоления почв опытных участков.

Изучение динамики рассоления в зависимости от степени засоления почвогрунтов по данным солевых съемок (табл. 32) показало, что на первом участке площадью 51 га с 1965 по 1968 г.

Таблица 31

Динамика рассоления почвогрунтов при промывных поливах, % от массы

Год	Промывная норма, тыс. м³/га	Слой почвы, см					
		0—100		100—200		0—200	
		До промывки	После промывки	До промывки	После промывки	До промывки	После промывки
Опытный участок № 1 (отвод 33 н)							
1965/1966	8	1,043	0,474	0,705	0,527	0,874	0,500
		0,097	0,030	0,062	0,055	0,079	0,042
1966/1967	5,8	0,522	0,383	0,533	0,481	0,528	0,432
		0,048	0,022	0,056	0,045	0,052	0,033
1967/1968	5,5	0,468	0,358	0,498	0,437	0,483	0,397
		0,035	0,014	0,049	0,041	0,042	0,030
1968/1969	3,6	0,403	0,352	0,452	0,442	0,428	0,397
		0,031	0,012	0,044	0,043	0,037	0,032
1969/1970	3,0	0,407	0,348	0,442	0,426	0,425	0,387
		0,032	0,010	0,043	0,032	0,038	0,025
Опытный участок № 2 (отвод 34)							
1966/1967	7	0,580	0,339	0,477	0,334	0,528	0,336
		0,062	0,022	0,057	0,037	0,059	0,030
1967/1968	5,5	0,441	0,338	0,378	0,314	0,410	0,326
		0,034	0,014	0,038	0,028	0,036	0,022
1968/1969	3,5	0,411	0,365	0,331	0,329	0,371	0,347
		0,016	0,012	0,030	0,029	0,023	0,020
1969/1970	3,0	0,420	0,357	0,384	0,325	0,402	0,341
		0,022	0,011	0,028	0,024	0,025	0,017

Примечание. Числитель — плотный остаток, знаменатель — хлор-ин.

после трехлетних промывок общей нормой 19,3 тыс. м³/га площадь незасоленных и слабозасоленных земель возросла с 7,4 га (1965 г.) до 45,2 га (1968 г.), что составляет 88,6% от общей площади участка. На втором участке (общая площадь 93,7 га) после двухлетней промывки общей нормой 12,5 тыс. м³/га площадь незасоленных и слабозасоленных земель в 1968 г. достигла

Таблица 32

Динамика рассоления засоленных земель на опытных участках

Номер участка	Степень засоления почв	1965 г.	1966 г.	1967 г.	1968 г.	1969 г.	1970 г.
1	Незасоленные и слабозасоленные	7,4	33,3	41,2	45,2	46,7	46,8
		14,5	75,5	80,8	88,6	91,6	91,8
	Среднезасоленные	13,0	9,4	9,8	5,8	4,3	4,2
		25,5	18,4	19,2	11,4	8,4	8,2
	Сильнозасоленные	18,9	3,3	—	—	—	—
		37,1	6,5				
	Солончаки	11,7	—	—	—	—	—
		22,9					
2	Незасоленные и слабозасоленные		15,2	49,9	83,1	89,2	89,0
			16,2	53,3	88,8	95,2	95,0
	Среднезасоленные		41,5	36,8	9,3	4,5	4,7
			44,3	39,3	9,9	4,8	5,0
	Сильнозасоленные		33,5	7,0	1,3	—	—
			35,8	7,4	1,3		
	Солончаки		3,5	—	—	—	—
			3,7				

Примечание. В числителе — площадь в га, в знаменателе — в %.

83,1 га, или 88,8% от общей площади. По существу участок со средне- и сильнозасоленными почвами перешел в категорию незасоленных и слабозасоленных почв.

В вегетационные периоды на опытных участках поливы хлопчатника проводились дождеванием. При неглубоком залегании грунтовых вод всего за вегетацию было проведено 3 полива оросительной нормой 2100—3300 м³/га. Урожай хлопка-сырца до проведения капитальных и эксплуатационных промывок на участке № 1 не превышал 0,8, а на участке № 2 — 1,6 т/га. После трехлетней промывки урожай хлопка-сырца достиг на участке № 1 в 1968 г. 3,04 т/га, а на участке № 2 после двухлетней промывки — 3,08 т/га.

Результаты изучения эффективности промывок засоленных почв на опытных участках нашли широкое применение на полях совхоза «Пахтаарал». Под урожай 1967 г. промывка земель проведена на площади 7,8 тыс. га, в том числе двухкратная — на 2,7 тыс. га, под урожай 1968 г. соответственно 8,3 и 4,8 тыс. га. Это позволило за 1967—1969 гг. ликвидировать участки без

хлопчатника и резко уменьшить площади земель с угнетенными растениями (с 1065,5 до 142,8 га). В 1967 г. промывка проводилась на всей площади на фоне повсеместной работы вертикального дренажа и урожай по совхозу составил 3,04 т/га, а в отделении имени XXII партсъезда, где земли были засолены в большей степени, урожай достиг 3,31 т/га. Таким образом, проведение дифференцированных промывок засоленных почв севооборотных полей позволяет существенно улучшить их солевой режим и повысить урожайность хлопчатника.

Дифференцированное проведение эксплуатационных промывок в зависимости от степени засоления и почвенно-мелиоративных условий на фоне дренажа позволяет направленно регулировать водный и солевой режимы почв. Об этом свидетельствуют результаты полевых опытов, выполненных совместно с Н. Ф. Бесналовым, А. Махамбетовым и М. Абдыхалыковым на территории Пахтааральской опытной станции хлопководства СоюзНИХИ (опыт № 1) и на землях совхоза имени Сегизбаева Джизакской области (опыт № 2). Испытывались следующие варианты: 1 (контроль) — без промывки; 2 — ежегодная промывка нормой 2 тыс. м³/га; 3 — через год той же нормой; 4 — ежегодная промывка нормой 4 тыс.м³/га; 5 — через год такой же нормой; 6 — один раз в 3—4 года нормой 6 тыс.м³/га. В опыте № 1 высевался хлопчатник сорта Ташкент-1, а в опыте № 2 — 108-Ф. Агротехника соответствовала агроправилам, принятым для каждой зоны. Промывные поливы проводились в осенне-зимний период затоплением по чекам. Требуемый мелиоративный режим в опытах обеспечивался работой вертикального дренажа.

Почвы опытных участков сероземно-луговые слабозасоленные с пятнами среднезасоленных. Тип засоления сульфатный и хлоридно-сульфатный. Эксплуатационные промывки и поливы в вегетационный период оказывали заметное влияние на динамику уровня грунтовых вод и их минерализацию. Промывная норма 2 тыс. м³/га в опыте № 1 способствовала подъему уровня грунтовых вод с 4,48 до 3,86 м, а в опыте № 2 — с 3,22 до 2,43 м. Минерализация грунтовых вод после промывки в опыте № 1 возросла в среднем на 7,5% и составила 9,076 г/л по плотному остатку, а по хлору — соответственно 38,3% и 1,176 г/л. В опыте № 2, напротив, она снизилась с 6,174 до 5,274 г/л по плотному остатку и с 0,690 до 0,506 г/л по хлор-иону. Таким образом, на фоне дренажа в староорошаемой зоне Голодной степи при более глубоком залегании грунтовых вод профилактические промывки нормой 2 тыс.м³/га не способствовали опреснению их, а в новой зоне, где они сравнительно неглубоко залегают, происходило снижение минерализации на 15% по плотному остатку и на 27% по хлор-иону.

Промывная норма 4 тыс. м³/га (вариант 4) заметно повышает уровень грунтовых вод: с 4,5 до 2,9 м в опыте № 1 и с 3,0 до 1,4 м в опыте № 2. Минерализация грунтовых вод изменилась с 8,135 до 7,718 г/л в опыте № 1 и с 6,290 до 5,192 г/л в опыте № 2,

а содержание иона хлора соответственно с 0,822 до 0,712 и с 0,722 до 0,473 г/л. Для варианта 4 характерно ежегодное снижение степени минерализации грунтовых вод после промывки в обоих опытах.

Применение повышенной промывной нормы (6 тыс.м³/га) привело к резкому подъему уровня грунтовых вод: с 4,4 до 2,0 м в опыте № 1 и с 3,8 до 1,2 м в опыте № 2. При этом произошло заметное опреснение грунтовых вод. В опыте № 1 минерализация их до промывки составляла 8,663 г/л по плотному остатку и 1,057 г/л по хлор-иону, а после промывки уменьшилась в 1,1—1,2 раза. В опыте № 2 эти величины составили соответственно 6,180 г/л; 0,694 и 5,150; 0,463 г/л, или снизились в 1,2 и 1,5 раза.

В вариантах 3, 5 и 6, где промывка проводилась периодически, изменения в уровнях грунтовых вод наблюдались только в год проведения ее. В другие годы глубина залегания их к началу вегетации стабилизировалась и, как в контроле, составляла 2,2—2,9 м.

Промывка способствовала увеличению влагозапасов в почве. При норме промывки 2 тыс.м³/га влагозапасы в зоне аэрации на глубине 0—300 см возросли в среднем на 1980 м³/га в опыте № 1 и на 1759 м³/га в опыте № 2. При этом существенно увеличивался запас влаги в верхнем метровом слое почвогрунта: в 1,7 раза в опыте № 1 и в 3,0 раза в опыте № 2. При более высоких промывных нормах — 4 и 6 тыс.м³/га — запас влаги заметно возрастал по всей трехметровой толще (соответственно на 3082—3211 и 4261—5315 м³/га).

В вегетационый период необходимая влажность поддерживалась поливами. В опыте № 1 было проведено 3—4 полива дождеванием машиной ДДА-100М по схеме 1—3—0 или 0—3—0 оросительной нормой 2750—3800 м³/га. В опыте № 2 поливы осуществлялись по бороздам по схеме 1—2—0 в 1,2—1,5 раза больше оросительной нормой. Перед первым поливом влажность метрового слоя почвы на контроле составляла 64,2—64,5% НВ, а на фоне промывки — 70—75% ППВ. То же самое наблюдалось и перед последующими поливами.

Эффективность рассоления почв в значительной степени зависела от нормы промывки (рис. 22, 23). Промывка нормой 2 тыс. м³/га в опыте № 1 снизила содержание хлор-иона в слое 0—100 см на 24% и токсичных солей — на 12,9%. В двухметровом слое почвы не произошло существенных изменений в содержании солей (табл. 33). В опыте № 2 промывная норма 2 тыс. м³/га снижала содержание солей до допустимого предела (0,01% по хлор-иону и менее 0,1 % по сумме токсичных солей). При этом наблюдалось перемещение солей из верхнего двухметрового слоя в нижележащие горизонты. Содержание плотного остатка и токсичных солей после промывки в среднем за период исследований снизилось в 1,5 раза, а иона хлора — в 1,9 раза. Слабозасоленная почва после промывки перешла в категорию незасоленных (табл. 34).

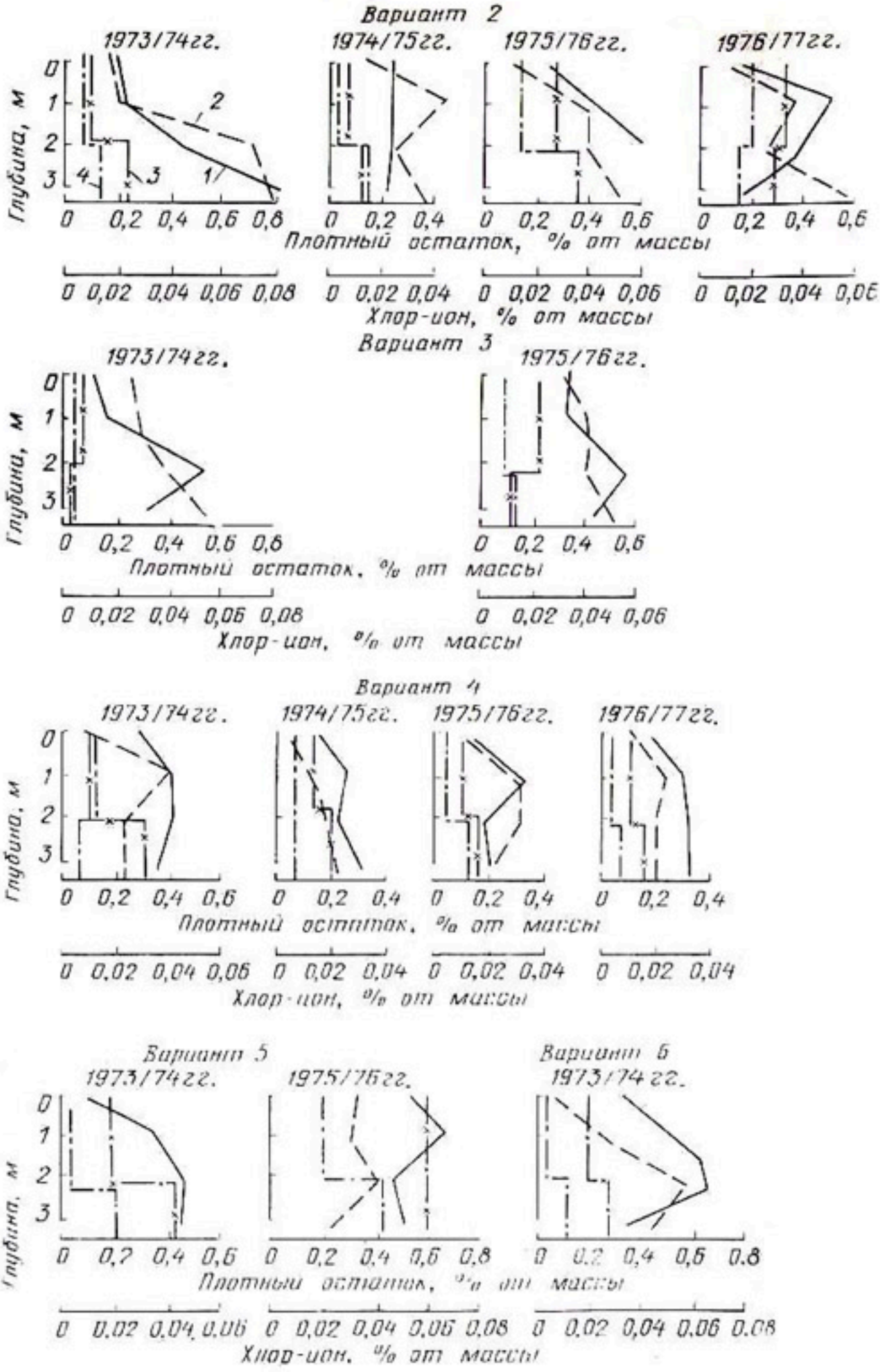


Рис. 22. Распределение легкорастворимых солей по профилю почвы в опыте 1 при эксплуатационной промывке разными нормами:

1 — содержание плотного остатка до промывки; *2* — то же после промывки; *3* — содержание хлор-иона до промывки; *4* — то же после промывки

Таблица 33

Влияние промывных норм на изменение содержания солей в почве опыта № 1, % от массы сухой почвы

Норма промывки, м³/га	Слой почвы, см	1973/74 г.		1974/75 г.		1075/76 г.		1976/77 г.	
		Плотный остаток	Хлор-ион	Плотный остаток	Хлор-ион	Плотный остаток	Хлор-ион	Плотный остаток	Хлор-ион
2000	0—100	0,273 / 0,278	0,011 / 0,010	0,265 / 0.447	0,014 / 0,011	0,443 / 0,398	0,024 / 0,016	0,559 / 0,420	0,029 / 0,019
	0—200	0,390 / 0,484	0,017 / 0,012	0,265 / 0,364	0,035 / 0,015	0,521 / 0,486	0,028 / 0,024	0,494 / 0,369	0,028 / 0,016
4000	0—100	0,359 / 0,366	0,013 / 0,014	0,285 / 0,198	0,014 / 0,008	0,317 / 0,308	0,012 / 0,008	0,295 / 0,217	0,014 / 0,008
	0—200	0,363 / 0,303	0,021 / 0,012	0,281 / 0,215	0,016 / 0,008	0,243 / 0,295	0,014 / 0,011	0,309 / 0,201	0,015 / 0,009
6000	0—100	0,574 / 0,267	0,020 / 0,008	—	—	—	—	—	—
	0—200	0,596 / 0,410	0,023 / 0,009	—	—	—	—	—	—

Примечание. Числитель — до промывки, знаменатель — после промывки

При ежегодной промывной норме 4 тыс. м³/га в обоих опытах наблюдалось значительное вымывание солей из почвогрунтов слоя 0—200 см. В опыте № 1 из верхнего метрового слоя почвы вымывалось в среднем 13,4% солей по плотному остатку и 23,1% хлор-иона, а из двухметрового слоя — соответственно 15,4 и 41,2%. В опыте № 2 содержание солей в метровом слое снизилось по плотному остатку и хлор-иону соответственно на 23,7 и 52,6%, а в слое почвы 0—200 см — на 34 и 38,6%. Токсичных солей из верхнего метрового слоя было вымыто 17,3 и 28,9% соответственно в опытах № 1 и 2.

Более глубокое рассоление почвы достигнуто при норме 6 тыс. м³/га. В опыте № 1, где исходное содержание солей до промывки было 0,574 и 0.596% соответственно в слоях 0—100 и 0—200 см, вымыв солей по плотному остатку составил 53 и 31%. Содержание хлор-иона после промывки при этом уменьшилось на 60% в слое 0—100 см и на 60,9% в слое 0—200 см. В опыте № 2 из слоя 0—200 см было вымыто 20,3% солей по плотному остатку и 57% хлор-иона. В обоих опытах вымыв суммы токсичных солей из слоя 0—100 см был примерно одинаковым и составлял

Таблица 34

Влияние промывных норм на изменение содержания солей в почве опыта № 2, %

Норма промывки, м³/га	Слой почвы, см	1975/76 г.		1976/77 г.		1977/78 г.	
		Плотный остаток	Хлор-ион	Плотный остаток	Хлор-ион	Плотный остаток	Хлор-ион
2000	0—100	0,242	0,024	0,233	0,020	0,219	0,014
		0,208	0,015	0,147	0,009	0,123	0,008
	0—200	0,456	0,019	0,284	0,016	0,301	0,017
		0,322	0,011	0,200	0,009	0,182	0,009
4000	0—100	0,195	0,016	0,218	0,020	0,187	0,012
		0,165	0,009	0,158	0,010	0,129	0,008
	0—200	0,531	0,016	0,288	0,016	0,288	0,016
		0,285	0,010	0,209	0,011	0,204	0,010
6000	0—100	0,242	0,025	—	—	—	—
		0,168	0,008				
	0—200	0,400	0,021	—	—	—	—
		0,319	0,009				

Примечание. Числитель — до промывки, знаменатель — после промывки.

в среднем 46% (табл. 35). Следует отметить, что при ежегодных промывках, когда остаточное содержание солей становится незначительным, такие повышенные расходы промывной воды нецелесообразны.

Наибольший вымыв солей одним кубическим метром воды из метрового слоя в опыте № 1 при промывной норме 4 тыс. м³/га составил 1,53 кг/м³, а в опыте № 2 при 2 тыс. м³/га —4,81 кг/м³. По иону хлора наибольший коэффициент промывного действия воды отмечался при норме промывки 2 тыс. м³/га (0,4 кг/м³ в опыте № 1 и 0,61 кг/м³ в опыте № 2).

В результате поступления в почву солей с оросительной водой, перераспределения их по горизонтам, а также испарения грунтовых вод наблюдалось сезонное соленакопление. В опыте № 1 коэффициент сезонного соленакопления в среднем составил 1,0—1,5 по плотному остатку и 1,1—1,6 по иону хлора, в опыте № 2 — 1,3—1,7 и 1,3—1,9 соответственно (табл. 36).

За период исследований под влиянием промывок и вегетационных поливов произошли существенные изменения содержания солей в слое почвы 0—100 см (табл. 37, рис. 24). Так, в контрольном варианте обоих опытов в результате ежегодного соленакопления почвы перешли из слабозасоленных в разряд среднезасо-

Таблица 35

Влияние промывных поливов на изменение содержания токсичных солей в слое почвы 0—100 см, %
(среднее за годы исследований)

Норма промывки, м³/га	Период определения	$MgSO_4$	Na_2SO_4	NaCl	Сумма
	Опыт № 1				
2000	До промывки	0,207	0,007	0,035	0,249
	После промывки	0,178	0,016	0,023	0,217
4000	До промывки	0,148	0,015	0,022	0,185
	После промывки	0,124	0,013	0,016	0,153
6000	До промывки	0,255	0,038	0,032	0,325
	После промывки	0,133	0,022	0,015	0,170
	Опыт № 2				
2000	До промывки	0,052	0,027	0,032	0,111
	После промывки	0,040	0,017	0,018	0,075
4000	До промывки	0,043	0,014	0,027	0,083
	После промывки	0,034	0,009	0,015	0,059
6000	До промывки	0,055	0,014	0,041	0,111
	После промывки	0,040	0,008	0,013	0,062

Таблица 36

Изменение содержания солей в слое почвы 0—100 см за вегетацию (% от массы сухой почвы) и коэффициент сезонного соленакопления (КСС)

Номер варианта	Плотный остаток			Хлор-ион		
	Весна	Осень	КСС	Весна	Осень	КСС
	Опыт № 1 (среднее за 1974—1977 гг.)					
1	0,411	0,421	1,0	0,022	0,032	1,5
2	0,395	0,451	1,1	0,015	0,023	1,6
3	0,250	0,369	1,5	0,013	0,021	1,6
4	0,232	0,320	1,4	0,010	0,016	1,6
5	0,458	0,529	1,2	0,022	0,029	1,8
6	0,512	0,549	1,1	0,030	0,033	1,1
	Опыт № 2 (среднее за 1976—1978 гг.)					
1	0,225	0,304	1,4	0,029	0,038	1,3
2	0,149	0,251	1,7	0,014	0,025	1,8
3	0,177	0,271	1,5	0,018	0,028	1,6
4	0,118	0,168	1,4	0,010	0,019	1,9
5	0,191	0,303	1,6	0,013	0,021	1,6
6	0,210	0,268	1,3	0,017	0,025	1,5

ленных. При этом содержание солей в метровом слое возросло в опыте № 1 в 2,2 раза по плотному остатку и в 3,6 раза по хлорному; в опыте № 2 — в 1,2 и 2,9 раза соответственно. Поэтому на этих почвах необходимо ежегодно проводить промывки. При ежегодной промывке нормой 2 тыс. м³/га и вегетационных поливах

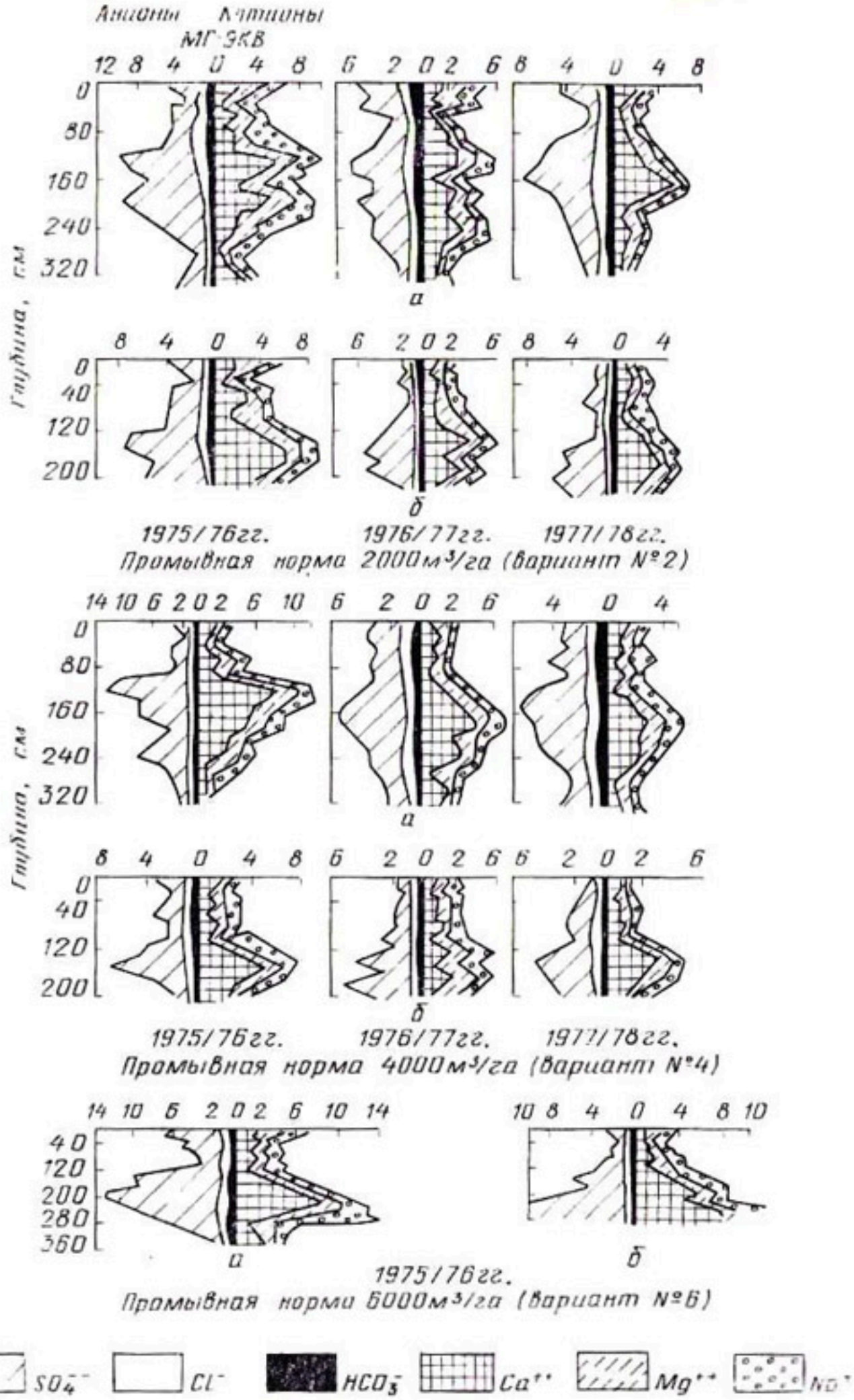


Рис. 23. Изменение солевых профилей почвогрунта при эксплуатационной промывке в опыте № 2:

а — до промывки; *б* — после промывки

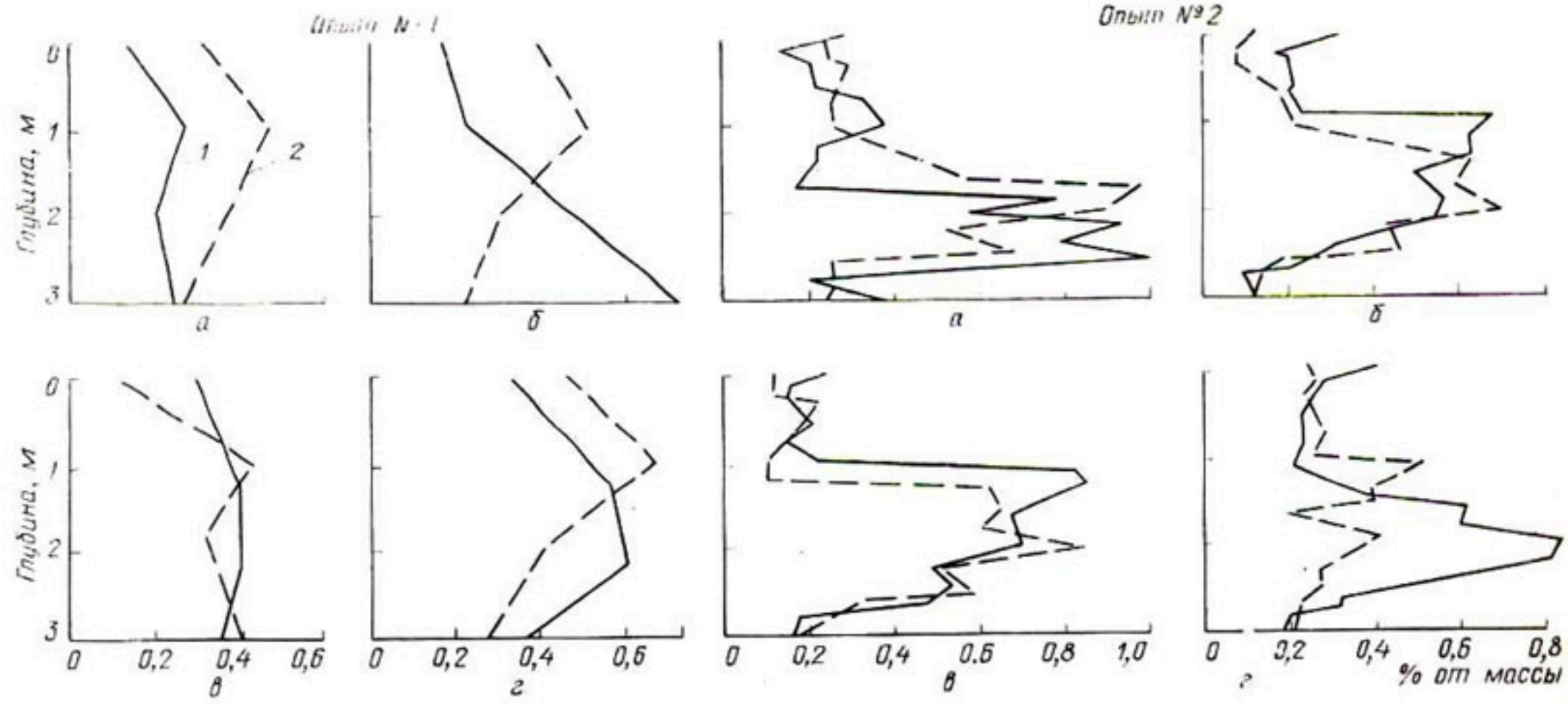


Рис. 24. Динамика плотного остатка солей:

а — без промывки; *б* — ежегодная промывка нормой 2000 м³/га; *в* — ежегодная промывка нормой 4000 м³/га; *г* — промывка 1 раз в 3—4 года нормой 6000 м³/га; *1* — начало исследований осень 1973 г. (опыт № 1), осень 1975 г. (опыт № 2). *2* — конец исследований осень 1977 г. (опыт № 1), осень 1978 г. (опыт № 2)

Таблица 37

Изменение содержания солей в почве под влиянием промывки и вегетационных поливов в слое 0—100 см, %

Номер варианта	Опыт № 1				Опыт № 2			
	Исходное содержание XI — 1973 г.		Конечное содержание X — 1977 г.		Исходное содержание XII — 1975 г.		Конечное содержание X — 1978 г.	
	плотный остаток	хлор-ион	плотный остаток	хлор-ион	плотный остаток	хлор-ион	плотный остаток	хлор-ион
1	0,240	0,011	0,654	0,040	0,260	0,016	0,301	0,047
2	0,273	0,011	0,573	0,026	0,242	0,024	0,178	0,021
3	0,143	0,008	0,318	0,022	0,208	0,011	0,328	0,025
4	0,359	0,013	0,368	0,019	0,195	0,013	0,154	0,016
5	0,370	0,019	0,509	0,021	0,422	0,022	0,262	0,020
6	0,574	0,020	0,654	0,040	0,242	0,025	0,285	0,029

дождеванием в опыте № 1 наблюдалось перемещение солей за четыре года из нижележащих горизонтов в корнеобитаемый слой. За этот же период величина плотного остатка в метровом слое почвы возросла примерно в 2 раза и хлор-иона в 2,4 раза.

В опыте № 2 при норме промывки 2,0 тыс. м³/га и трех вегетационных поливах по бороздам оросительной нормой 4,3 тыс.м³/га был существенно опреснен верхний метровый слой почвы. За трехлетний период содержание плотного остатка ежегодно снижалось в среднем на 8,8%, а иона хлора — на 13%. Уменьшению поступления солей в корнеобитаемый слой из нижележащих, более засоленных горизонтов способствовал промывной режим орошения.

Профилактические промывки через год нормой 2 тыс. м³/га уменьшали содержание солей в слое 0—200 см, но не до порога токсичности. В опыте № 1 содержание плотного остатка в метровом слое увеличилось в 2,2 раза и хлор-иона — в 2,7 раза, а в опыте № 2 — соответственно в 1,6 и 2,3 раза. Ежегодная промывка нормой 4 тыс. м³/га позволила поддерживать в почве оптимальный солевой режим. В опыте № 1 содержание плотного остатка в верхнем метровом слое снижалось на 10—30%, а в слое 1—2 м — на 10—20%.

Количество иона хлора уменьшилось в среднем в 1,7 раза в слое 0—200 см. В опыте № 2 к концу вегетационного периода третьего года исследований содержание плотного остатка в метровом слое снизилось в 1,3 раза (до 0,154%), а содержание иона хлора в 1,2 раза (до 0,016%). Следовательно, на фоне ежегодного проведения промывок нормой 4 тыс. м³/га поддерживался стабильный солевой режим почв в слое 0—200 см.

В варианте № 5 достаточное опреснение корнеобитаемого слоя происходило в год промывки. Однако на следующий год, когда

промывки не было, интенсивность солепакопления значительно усиливалась. Поэтому содержание солей в метровом слое почвы за четырехлетний период в опыте № 1 увеличилось в 1,4 раза (до 0,509%), а иона хлора — в 1,1 раза, или до 0,021%. В опыте № 2 при периодической промывке нормой 4 тыс. м³/га отмечалось рассоление почвогрунта в слое 0—200 см. Сезонное соленакопление происходило с меньшей интенсивностью, так как применялся промывной режим орошения, поэтому содержание солей в слое 0—100 см за 3 года уменьшилось в 1.6 раза по плотному остатку и в 1,1 раза по иону хлора.

При промывной норме 6 тыс. м³/га (промывка через 3—4 года) величина плотного остатка в слое 0—100 см возросла в первый год вегетации с 0,362 до 0,415% в опыте № 1 и с 0.197 до 0,310% в опыте № 2. В годы, когда промывку не проводили, происходило ежегодное соленакопление в корнеобитаемом слое почвы. В целом содержание плотного остатка и хлор-иона в слое 0—100 см возросло соответственно на 13,9 и 200% в опыте № 1 за 4 года и на 17,8 и 16% в опыте № 2 за 3 года. Таким образом, на слабозасоленных сероземно-луговых почвах с пятнами средней степени засоления старой зоны орошения оптимальный водно-солевой режим почвы достигается при 3—4 вегетационных поливах дождеванием оросительной нормой 3,3 тыс. м³/га и ежегодной эксплуатационной норме промывки 4 тыс. м³/га.

В новой зоне орошения Голодной степи (опыт № 2) установлен несколько иной характер процесса рассоления слабозасоленных почв с хлоридно-сульфатным типом засоления. Для поддержания оптимального водного и солевого режимов почвы здесь оказалось достаточным проведение ежегодной промывки нормой 4 тыс. м³/га. На фоне ежегодной промывки нормой 2 тыс. м³/га наблюдалось некоторое замедление роста и развития растений. В варианте без промывки развитие растений хлопчатника задерживалось, что обусловлено заметным ухудшением солевого режима.

Данные по урожайности хлопчатника показывают, что наибольший урожай хлопка-сырца был получен на фоне ежегодной промывки нормой 4 тыс. м³/га (табл. 38). При этом прибавка

Таблица 38

Урожайность хлопка-сырца, т/га

Номер варианта	Опыт № 1					Опыт № 2			
	1974 г.	1975 г.	1976 г.	1977 г.	Среднее	1976 г.	1977 г.	1978 г.	Среднее
1	2,88	3,93	2,72	2,81	3,08	2,83	2,97	2,74	2,84
2	4,01	4,26	3,39	4,47	4,03	3,60	3,93	3,86	3,80
3	3,98	3,81	3,47	3,44	3,67	3,66	3,42	3,72	3,61
4	4,10	4,37	3,82	4,63	4,23	3,75	4,03	4,01	3,93
5	4,33	3,18	3,30	3,66	3,61	3,81	3,65	3,90	3,79
6	4,43	3,72	2,95	2,80	3,47	3,61	3,70	3,62	3,64

урожая от промывки составила в среднем 1,15 т/га в опыте № 1 и 1,09 т/га в опыте № 2. На фоне ежегодной промывки нормой 2 тыс. м³/га урожай хлопка-сырца был ниже, чем при ежегодной промывке нормой 4 тыс. м³/га: в опыте № 1 в среднем на 0,20 т/га, в опыте № 2 — на 0,13 т/га.

Повышение нормы промывки до 6 тыс. м³/га способствовало росту урожая в опыте № 1 лишь в год ее проведения, а в опыте № 2 не наблюдались преимущества по сравнению с вариантом 4. Периодическое (через год) проведение промывки нормами 2,0 и 4,0 тыс. м³/га снижало урожай хлопка-сырца.

ВЛИЯНИЕ СПОСОБОВ ОБРАБОТКИ ПОЧВЫ НА ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОФИЛАКТИЧЕСКИХ ПРОМЫВОК

В староорошаемой зоне Голодной степи в результате длительного орошения на глубине 30—50 см образовалась «плужная подошва», которая значительно снижает водопроницаемость почв, опреснение корнеобитаемого слоя и увеличивает длительность промывки. Для более рационального использования промывной воды и повышения эффективности промывки в таких условиях необходимо разрыхление подпахотных слоев почвы, позволяющее увеличить ее водопроницаемость и создать необходимые скорости нисходящего движения воды в промывной период. Важными агромелиоративными приемами, позволяющими увеличить водопроницаемость активного слоя почвы, являются глубокое рыхление и плантажная вспашка.

Опыты по изучению эффективности агромелиоративных приемов, включающих глубокое рыхление и плантажную вспашку, были заложены осенью 1976 г. совместно с К. Ибрагимовым в совхозе «Новый путь» Пахтааральского района Чимкентской области. В первых трех вариантах перед промывкой в первый год исследований проводилась вспашка на глубину 30 см, в вариантах 4—6 — вспашка в сочетании с рыхлением почв на глубину 50 см, а в вариантах — 7—9 — плантажная вспашка на 50 см. На этих фонах обработки почвы в осенне-зимний период ежегодно проводилась эксплуатационная промывка нормами 2 тыс. м³/га в вариантах 1, 4 и 7; 3 тыс. м³/га — вариантах 2, 5, 8 и 4 тыс. м³/га — вариантах 3, 6, 9. Почвы опытного участка староорошаемые, сероземно-луговые среднесуглинистые, слабозасоленные с пятнами среднезасоленных.

Результаты опытов показали, что объемная масса почвы в зависимости от ее обработки существенно изменяется (табл. 39). Почвы подпахотного горизонта в слое 30—50 см при естественном состоянии характеризуются очень большой плотностью сложения (1,56—1,58 г/см³). При таких показателях объемной массы развитие корневой системы хлопчатника существенно затруд-

Таблица 39

Изменение объема массы в зависимости от способа обработки почвы перед промывкой, г/см$_3$

Слой почвы, см	Вспашка на 30 см		Вспашка+рыхление на 50 см		Плантажная вспашка на 50 см	
	до промывки	после промывки	до промывки	после промывки	до промывки	после промывки
			1976/77 г.			
0—30	1,36	1,42	1,34	1,41	1,37	1,42
30—50	1,56	1,58	1,42	1,49	1,47	1,52
0—50	1,46	1,50	1,38	1,45	1,42	1,47
			1977/78 г.			
0—30	1,34	1,41	1,35	1,42	1,35	1,43
30—50	1,56	1,59	1,51	1,54	1,53	1,55
0—50	1,45	1,50	1,43	1,48	1,44	1,49
			1978/79 г.			
0—30	1,35	1,41	1,34	1,41	1,36	1,40
30—50	1,57	1,57	1,56	1,57	1,58	1,58
0—50	1,46	1,49	1,45	1,49	1,47	1,49

няется, что в конечном итоге отрицательно сказывается на урожайности. Иная картина в изменении показателей объемной массы в этом слое складывается при вспашке с глубоким рыхлением и плантажной вспашке. Объемная масса почвы на фоне глубокого рыхления в подпахотном слое 30—50 см уменьшилась на 9%, а при плантажной вспашке — на 6%. Проведение осенне-зимних промывок приводило к уплотнению почвы и особенно ее разрыхленных слоев. Последействие глубокого рыхления и плантажной вспашки сказывалось в первые два года. В третьем году исследований объемная масса приблизилась к первоначальным значениям. Значительно большее влияние оказывали способы обработки на водопроницаемость почвы (табл. 40). Глубокое рыхление в сочетании с обычной вспашкой способствовало увеличению водопроницаемости за 6 ч на 57%, а плантажная — на 27,3%. После промывки водопроницаемость на вариантах с глубокой обработкой почвы уменьшилась, однако она оставалась значительно выше, чем при вспашке на 30 см. Таким образом, глубокое рыхление и плантажная вспашка оказывают положительное влияние на водно-физические свойства почв в течение 3 лет. Исходя из этого периодичность их проведения должна быть не чаще, чем через 3 года.

Вымыв солей из почвы повышается как при вспашке в сочетании с глубоким рыхлением, так и при глубокой плантажной вспашке (табл. 41). В среднем на фоне обычной вспашки в сочетании с глубоким рыхлением вымыв плотного остатка из метрового слоя в период промывки составил 36,1%, при плантажной вспашке 33,3%, а при обычной только 31,3% от исходного. Из

Таблица 40

Водопроницаемость почвы в зависимости от способа ее обработки, мм/мин

Часы наблюдения	Вспашка на 30 см		Вспашка+рыхление на 50 см		Плантажная вспашка на 50 см	
	до промывки	после промывки	до промывки	после промывки	до промывки	после промывки
			1976/77 г.			
1-й	0,71	0,68	0,89	0,86	0,79	0,72
6-й	0,08	0,07	0,46	0,15	0,11	0,10
Среднее за 6 ч	0,24	0,22	0,37	0,33	0,30	0,26
			1977/78 г.			
1-й	0,67	0,62	0,83	0,76	0,71	0,65
6-й	0,06	0,04	0,14	0,10	0,07	0,06
Среднее за 6 ч	0,10	0,22	0,35	0,32	0,29	0,27
			1978/79 г.			
1-й	0,73	0,65	0,76	0,69	0,65	0,56
6-й	0,09	0,07	0,11	0,07	0,06	0,04
Среднее за 6 ч	0,24	0,23	0,33	0,31	0,27	0,25

второго метра было вымыто соответственно 10,7; 7,9 и 6,1%. Наиболее интенсивно происходил вымыв хлор-иона. Если при обычной вспашке из метрового слоя вымывалось 46,6% от исходного его количества, то при плантажной вспашке его вымыв возрос в среднем до 51%, а при глубоком рыхлении — до 60,7%. Закономерное снижение содержания иона хлора при промывках в зависимости от способа обработки почвы отмечалось и во втором метре. При этом количество вымытого иона хлора было меньше, чем из первого метра и составило в среднем 24,8; 19 и 14,2% соответственно при глубоком рыхлении, плантажной и обычной вспашках. Следует отметить, что вымыв токсичных солей изменялся в таких же размерах, что и вымыв плотного остатка. С увеличением нормы промывки с 2 до 4 тыс. м³/га вымыв плотного остатка из слоя 0—100 см возрастал с 26,5 до 35,9% при обычной вспашке, с 30,4 до 41,2% при глубоком рыхлении и с 28,2 до 38,8% при плантажной вспашке. Из второго метра вымыв возрастал в среднем на 7—9% (с 3,2 до 10,2%; 6,2 до 15 и 4,1 до 11,7% соответственно при обычной вспашке, глубоком рыхлении и плантажной вспашке).

Действие глубокой обработки почвы на вымыв солей при промывках наиболее эффективно сказывалось в первом году исследований. Последействие ее заметно проявлялось и в последующие два года. На фоне обычной вспашки опреснение почв до требуемых пределов происходило только при промывке нормой 4 тыс. м³/га. При этом в слое 0—100 см содержание плотного остатка снижалось до 0,211—0,237%, а хлора до 0,009—0,010%. Проведение глубокого рыхления в сочетании с обычной вспаш-

Таблица 41

Изменение содержания солей в метровом слое почвы при различных способах обработки и нормах промывки, %

Номер варианта	1976/77 г.		1977/78 г.		1978/79 г.		Среднее	
	до промывки	после промывки	до промывки	после промывки	до промывки	после промывки	до промывки	после промывки
1	0,363	0,259	0,378	0,281	0,403	0,299	0,381	0,280
	0,030	0,020	0,032	0,021	0,033	0,022	0,032	0,021
2	0,370	0,253	0,351	0,247	0,354	0,243	0,362	0,248
	0,030	0,016	0,029	0,017	0,028	0,015	0,029	0,016
3	0,358	0,237	0,339	0,212	0,332	0,211	0,343	0,22
	0,029	0,012	0,026	0,010	0,025	0,009	0,027	0,011
4	0,379	0,262	0,372	0,263	0,364	0,252	0,372	0,259
	0,030	0,014	0,030	0,016	0,028	0,015	0,029	0,015
5	0,375	0,233	0,355	0,266	0,341	0,219	0,357	0,226
	0,029	0,009	0,026	0,010	0,026	0,010	0,027	0,010
6	0,371	0,218	0,337	0,197	0,328	0,194	0,345	0,203
	0,031	0,006	0,024	0,008	0,022	0,008	0,026	0,007
7	0,383	0,274	0,374	0,269	0,371	0,267	0,376	0,270
	0,030	0,016	0,030	0,019	0,029	0,019	0,030	0,018
8	0,366	0,243	0,359	0,239	0,348	0,232	0,358	0,238
	0,029	0,012	0,028	0,014	0,029	0,016	0,029	0,014
9	0,363	0,226	0,348	0,216	0,332	0,201	0,348	0,214
	0,029	0,008	0,025	0,009	0,024	0,011	0,026	0,009

Примечание. Числитель — плотный остаток, знаменатель — хлор-ион.

кой позволило существенно увеличить вымыв солей из почвы и снизить промывную норму. Рассоление метрового слоя почвы было достигнуто при норме 3 тыс. м³/га. При этом остаточное содержание плотного остатка составило 0,219—0,233%, а хлор-иона 0,009—0,010%. В этих условиях повышение нормы промывки до 4 тыс. м³/га в течение первых лет последействия становится нерациональным. Промывка после проведения плантажной вспашки полностью опреснила слой почвы 0—100 см только при норме 4 тыс. м³/га. Однако при норме 3 тыс. м³/га содержание плотного остатка было меньше 0,25%, а хлор-иона незначительно выше предела незасоленных почв (особенно в первом году).

Глубокая обработка почвы хотя и обеспечивала наибольший вымыв солей при промывках, но в то же время способствовала большему накоплению солей в пахотном слое в период вегетации. Сезонное засоление при глубоком рыхлении было выше, чем при обычной вспашке: по плотному остатку в среднем на 13%, а по хлор-иону на 45% (табл. 42). На фоне плантажной вспашки

Таблица 42

Изменение содержания солей в слое почвы 0—100 см за вегетацию (%) и коэффициент сезонного засоления (КСЗ) в среднем за 1977—1979 гг.

Номер варианта	Плотный остаток			Сумма токсичных солей			Хлор-ион		
	Весна	Осень	КСЗ	Весна	Осень	КСЗ	Весна	Осень	КСЗ
1	0,258	0,377	1,41	0,157	0,224	1,43	0,020	0,033	1,65
2	0,249	0,354	1,42	0,148	0,209	1,41	0,016	0,028	1,75
3	0,224	0,339	1,51	0,147	0,201	1,37	0,009	0,026	2,89
4	0,251	0,364	1,45	0,149	0,211	1,42	0,015	0,028	1,87
5	0,223	0,348	1,56	0,146	0,206	1,41	0,010	0,025	2,50
6	0,195	0,336	1,72	0,141	0,199	1,41	0,007	0,023	3,28
7	0,266	0,372	1,40	0,151	0,215	1,42	0,017	0,030	1,76
8	0,233	0,348	1,49	0,136	0,206	1,37	0,014	0,029	2,07
9	0,212	0,335	1,58	0,145	0,192	1,32	0,010	0,025	2,50

накопление солей за вегетационный период было несколько выше, чем при обычной вспашке. К концу вегетационного периода засоление почв при всех фонах и нормах промывки не превышало уровня слабого засоления, за исключением варианта 1, где содержание хлор-иона в слое почвы 0—100 см достигло нижнего предела среднего засоления. Такой солевой режим в вегетационный период на фоне эксплуатационной промывки создавался проведением трех поливов дождеванием по схеме 1—2—0 оросительной нормой 2100—2300 м³/га. При этом уровень грунтовых вод от посева к уборке хлопчатника понижался с 2,0 до 3,6 м.

Принятый режим орошения обеспечивал оптимальное увлажнение почвы по всем вариантам опыта. Однако неодинаковое засоление почв при промывках создало различные условия для формирования урожая хлопка-сырца (табл. 43). В первый год исследований на участках с плантажной вспашкой при всех нормах промывки урожай был ниже на 0,05—0,07 т/га, чем при обычной вспашке. Это объясняется тем, что на поверхность почвы был вывернут малоплодородный подпахотный слой. В последующие годы урожай хлопка-сырца повышался, однако оставался ниже, чем при обычной вспашке. Наибольший урожай хлопка-сырца был получен на фоне обычной вспашки в сочетании с глубоким рыхлением при нормах промывки 3 и 4 тыс. м³/га (в среднем 4,32 и 4,36 т/га). Прибавка урожая по сравнению с обычной вспашкой составила 0,2 т/га.

Таблица 43

Урожайность хлопка-сырца в зависимости от способа обработки почвы и нормы промывки, т/га

Номер варианта	Способ обработки почвы	Норма промывки, тыс. м³/га	1977 г.	1978 г.	1979 г.	Среднее
1	Обычная вспашка (на глубину 30 см)	2	4,12	3,91	3,94	3,99
2	—«—	3	4,23	4,03	4,01	4,09
3	—«—	4	4,29	4,12	4,13	4,18
4	Глубокое рыхление на 60 см+обычная вспашка	2	4,22	4,05	4,12	4,13
5	—«—	3	4,43	4,24	4,29	4,32
6	—«—	4	4,45	4,29	4,34	4,36
7	Плантажная вспашка на 50 см	2	4,06	3,94	3,97	3,99
8	—«—	3	4,18	4,10	4,06	4,11
9	—«—	4	4,22	4,19	4,18	4,20

Следовательно, эксплуатационная промывка почвы на фоне глубокой обработки, включающей обычную вспашку в сочетании с глубоким рыхлением, позволяет снизить объем промывной воды в среднем на 25% (с 4 до 3 тыс. м³/га) при сохранении оптимального опреснения корнеобитаемого слоя почвы. При этом последействие глубокого рыхления в улучшении солевого режима почв и повышении урожая проявляется не менее чем в течение 3 лет.

ДИФФЕРЕНЦИАЦИЯ НОРМ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ПРОМЫВОК В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ИНТЕНСИВНОСТИ ДРЕНИРОВАНИЯ ЗЕМЕЛЬ

Многочисленными данными специальных исследований установлено, что водный и солевой режимы почвы в зоне действия вертикального и глубокого горизонтального дренажа имеют различия (Калашников, 1967; Макарова, Нешумов, 1972 и др.). В связи с этим нами в 1979—1981 гг. в совхозе «Пахтаарал» были заложены полевые опыты по изучению эффективности разных норм профилактических промывок в зоне наибольшего и умеренного влияния дренажа. Опыт № 1 проводили на фоне вертикального дренажа на двух участках: зона активного влияния скважины — расстояние 50—150 м и зона умеренного влияния — 450—550 м. На каждом участке изучали нормы промывки, составившие 2 (варианты № 1 и 4), 3 (варианты № 2 и 5) и 4 тыс. м³/га (варианты № 3 и 6). В упомянутые годы на фоне горизонтального

дренажа (опыт № 2) проводились исследования в новой зоне орошения совхоза «Ташкент». При этом первый участок был расположен на расстоянии 0—40 м от дрены, а второй — 80—120 м. Нормы промывки по вариантам распределялись так же, как и в опыте № 1.

Почвы опытных участков сероземно-луговые, среднесуглинистые. Объемная масса метрового слоя составляет 1,41 г/см³ (опыт № 1) и 1,38 г/см³ (опыт № 2), порозность соответственно 47 и 49% и наименьшая влагоемкость 21 и 20,8% от массы. Скорость фильтрации 0,10—0,35 м/сут (опыт № 1) и 0,15—0,45 м/сут (опыт № 2).

Промывка почвы затоплением по чекам проводилась ежегодно по зяби, вспаханной на глубину 30—35 см. Данные по влиянию норм промывки на уровень залегания грунтовых вод показали, что при увеличении нормы промывки с 2 до 4 тыс. м³/га подъем грунтовых вод был выше в 1,9—2,7 и 2,0—2,1 раза соответственно в опытах № 1 и 2 (табл. 44). Норма промывки 2 тыс. м³/га на фоне вертикального дренажа способствовала подъему грунтовых вод в среднем на 48 см вблизи скважины и на 89 см в отда-

Таблица 44

Глубина грунтовых вод в среднем за 1979—1982 гг., см

Номер варианта	Расстояние, м	Норма промывки, тыс. м³/га	Промывной период			Вегетационный период		
			до промывки	после промывки	подъем	весна	осень	снижение
			Опыт 1					
1	50—150 от скважины	2	445	397	48	346	443	97
2		3	442	361	81	341	437	96
3		4	436	307	129	333	426	93
4	450—550 от скважины	2	379	290	89	228	366	138
5		3	373	245	128	219	361	142
6		4	364	192	172	212	355	143
			Опыт 2					
1	0—40 от дрены	2	316	250	66	253	311	58
2		3	312	208	104	248	308	60
3		4	310	175	135	244	305	61
4	80—120 от дрены	2	303	221	82	226	291	65
5		3	298	172	126	223	289	66
6		4	292	129	163	218	286	68

лении от скважины (при более близком залегании грунтовых вод). При норме промывки 4 тыс. м³/га подъем составил 129 и 172 см соответственно вблизи и в отдалении от скважины.

На фоне горизонтального дренажа интенсивность подъема грунтовых вод в междренье и вблизи дрены проявлялась в меньшей степени, чем на фоне вертикального дренажа. В опыте 2 подъем составил 66 и 82 см при норме промывки 2 тыс. м³/ га и 135 и 163 см при норме 4 тыс. м³/га соответственно на полосах, прилегающих к дренам и в середине междренья. Таким образом, при более глубоком залегании грунтовых вод в период промывки происходил менее интенсивный их подъем за счет большей аккумуляции в почвогрунтах части промывной воды, а также действия дренажа.

В вегетационный период снижение грунтовых вод от весны к осени (опыт 1) на участках, расположенных на расстоянии 50—150 м от скважины, было меньше в среднем в 1,48 раза, чем при удалении от скважины на 450—550 м. В опыте 2 различия в снижении грунтовых вод в зависимости от удаленности от дрены не превышали 10%. В целом грунтовые воды в староорошаемой зоне на фоне вертикального дренажа как в вегетационный, так и промывной период, залегают глубже, чем на фоне горизонтального дренажа в новой зоне орошения. В конце вегетационного периода (перед промывкой) грунтовые воды залегают ниже в среднем на 121—132 см в зоне интенсивного влияния дренажа и на 69—76 см в зоне умеренного влияния. В весенний период в зоне наибольшего дренирования грунтовые воды залегали глубже на 89—93 см, а в отдалении от дрены их уровень был примерно одинаковым на участках, дренированных и вертикальным и горизонтальным дренажем. Минерализация грунтовых вод при промывках снижалась на всей площади, обслуживаемой дренажем. В период вегетации происходило повышение минерализации грунтовых вод, причем она возрастала по мере удаления от вертикальной скважины и горизонтальной дрены.

Различные условия дренированности сказались неодинаково на изменении влажности почв при промывках (табл. 45). В опыте

Таблица 45

Увеличение запасов влаги в почве после промывки в среднем за 1978/79—1980/81 гг., м³/га

Номер варианта	Опыт 1				Опыт 2			
	0—100 см	100—200 см	200—300 см	0—300 см	0—100 см	100—200 см	200—300 см	0—300 см
1	1020	624	315	1959	1116	478	204	1798
2	1253	873	622	2748	1188	797	531	2516
3	1501	1209	855	3565	1355	1046	723	3124
4	1005	469	249	1723	1077	503	104	1684
5	1211	710	531	2452	1164	831	417	2412
6	1388	1023	696	3107	1315	988	782	3085

1 в слое почвы 0—300 см при норме промывки 2 тыс. м³/га в зоне интенсивного влияния скважины аккумулировалось 97,9% промывной воды, а в отдалении от скважины — только 86,1%. При норме промывки 4 тыс. м³/га эти показатели соответственно составляли 89,1 и 77,7%. В опыте 2 влагозапасы в зоне аэрации (0—300 см) при промывках возрастали в среднем на 40—100 м³/га, или 1—5%, вблизи оси дрены по сравнению с участками, расположенными в междренье.

По мере увеличения нормы промывки с 2 до 4 тыс. м³/га происходило снижение объема промывной воды на 7—11%, задерживаемой в слое почвогрунта 0—300 см. В процессе промывки существенно увеличивались запасы влаги в верхних горизонтах почвы, а в нижних слоях они возрастали в меньших размерах из-за капиллярной насыщенности почвы под влиянием грунтовых вод. Так, увеличение влагозапасов в почве в первом метре составило 42,1—63,9%, а во втором и третьем метрах соответственно 26,6—33,9 и 6,2—25,4%.

Промывка почвы оказывала положительное влияние на водный режим почв в начальный период вегетации хлопчатника. Влажность пахотного слоя почвы изменялась от 78 до 88% НВ, а метрового слоя от 92 до 100% НВ и выше в зависимости от нормы промывки. Такие показатели по влажности почвы обеспечивали нормальное появление всходов, благоприятный рост и развитие хлопчатника до фазы бутонизации или начала цветения без вегетационных поливов. На фоне вертикального дренажа в зоне активного влияния скважины (варианты № 1—3) для поддержания оптимальной предполивной влажности почвы (70—70—60% НВ) потребовалось ежегодно проводить четыре полива по схеме 1—3—0, а при удалении от нее на 450—550 м (зона умеренного дренирования) — три полива по схеме 0—3—0 или 1—2—0. Поливы осуществлялись дождеванием с использованием агрегата ДДА-100М при поливных нормах 660—780 м³/га. Оросительная норма составляла 3000 м³/га и 2200—2440 м³/га соответственно в зоне активного и умеренного влияния дренажа. Следовательно, в зоне интенсивного действия вертикального дренажа оросительная норма была больше в среднем на 22,3%.

На фоне горизонтального дренажа (опыт 2) поливы хлопчатника проводились ежегодно по бороздам по схеме 1—2—0 или 0—3—0 поливными нормами 1200—1300 м³/га и оросительной нормой 3700—3800 м³/га. При этом различий в режимах орошения в придренной полосе и на середине между дренами установлено не было. Поливы хлопчатника при поддержании оптимальной влажности в расчетном слое почвы осуществлялись примерно в одно и то же время на всем междренном расстоянии.

Расход влаги хлопковым полем в слое почвы 0—300 см (без учета подпитывающего влияния грунтовых вод) изменялся в зависимости от интенсивности дренирования земель и промывной нормы в пределах 5521—6021 м³/га в опыте 1 и 6529—6859 м³/га в опыте 2. В зоне интенсивного действия скважины вертикально-

го дренажа расход воды хлопковым полем был выше, чем в зоне умеренного дренирования (варианты 3—6) на 476—500 м³/га, или в 1,09 раза. Это обусловлено большим расходом оросительной воды при более глубоком залегании грунтовых вод. На фоне горизонтального дренажа разница в расходе влаги за вегетацию в придренной полосе и междренье составляла всего 45—84 м³/га. В опыте 2 хлопковым полем расходовалось влаги больше, чем в опыте 1, на 801 м³/га в зоне интенсивного влияния дренажа и на 1222 м³/га на удаленных от дрены участках, что связано с большей долей расхода оросительной воды в водном балансе.

Таблица 46

Рассоление почвогрунтов после промывки в зависимости от степени дренированности земель, % (среднее за 1978—1981 гг.)

Номер варианта	Опыт 1				Опыт 2			
	до промывки		после промывки		до промывки		после промывки	
	сумма токсичных солей	хлор-ион	сумма токсичных солей	хлор-ион	сумма токсичных солей	хлор-ион	сумма токсичных солей	хлор-ион
1	0,137 / 0,126	0,022 / 0,021	0,122 / 0,114	0,014 / 0,018	0,128 / 0,292	0,018 / 0,017	0,109 / 0,254	0,010 / 0,013
2	0,131 / 0,122	0,020 / 0,018	0,098 / 0,108	0,009 / 0,014	0,122 / 0,299	0,018 / 0,016	0,100 / 0,248	0,007 / 0,011
3	0,116 / 0,117	0,020 / 0,019	0,091 / 0,100	0,007 / 0,012	0,128 / 0,288	0,020 / 0,017	0,097 / 0,229	0,007 / 0,011
4	0,185 / 0,172	0,027 / 0,026	0,163 / 0,163	0,020 / 0,021	0,139 / 0,295	0,021 / 0,016	0,126 / 0,286	0,012 / 0,013
5	0,168 / 0,163	0,025 / 0,022	0,133 / 0,139	0,013 / 0,017	0,134 / 0,293	0,019 / 0,016	0,106 / 0,269	0,009 / 0,012
6	0,161 / 0,157	0,024 / 0,021	0,122 / 0,135	0,009 / 0,016	0,126 / 0,291	0,019 / 0,018	0,098 / 0,253	0,008 / 0,012

Примечание. Числитель — в слое почвы 0—100 см, знаменатель — в слое 0—300 см.

Полученные данные показали, что интенсивность вымыва солей в значительной мере изменялась в зависимости от степени дренированности земель (табл. 46). На фоне вертикального дренажа при нормах промывки 2—4 тыс. м³/га на участке, расположенном вблизи скважины, вымывалось из метрового слоя почвы в среднем 19,2% токсичных солей и 51,8% хлор-иона. Такая же закономерность сохранялась и на фоне закрытого горизонталь-

ного дренажа (опыт 2). Из слоя почвы 0—100 см при нормах промывки 2—4 тыс. м³/га в среднем было вымыто 55,7% хлор-иона и 19% токсичных солей на участке с расстоянием 0—40 м от дрены и соответственно 50,5 и 17,5% на более удаленных участках. В зоне интенсивного влияния дренажа (50—150 м от вертикальной скважины) для рассоления слабозасоленных почв достаточно ежегодной промывки нормой 3 тыс. м³/га. На удаленных от скважины участках требуемое опреснение почв достигается при норме промывки 4 тыс. м³/га. В зоне нового орошения (опыт 2) вблизи дрены почва опресняется до 0,01% по хлор-иону ежегодной промывной нормой 2 тыс. м³/га. Содержание токсичных солей при сульфатном типе засоления после промывки в среднем составило 0,109% в слое 0—100 см. В середине междренья для опреснения метрового слоя почвы потребовалась норма 3 тыс. м³/га.

В зоне интенсивного действия вертикального дренажа наибольший вымыв солей одним кубическим метром воды был достигнут при норме 3 тыс. м³/га (1,54 по сумме токсичных солей и 0,51 кг/м³ по хлор-иону). На более удаленных участках от скважины большее количество солей одним кубическим метром воды вымывалось при норме 4 тыс. м³/га (1,37 кг токсичных солей и 0,53 кг хлор-иона). В опыте 2 на фоне горизонтального дренажа наибольший вымыв солей одним кубометром воды был при норме 2,0 тыс. м³/га, а в междренье — 3,0 тыс. м³/га (табл. 47).

Таблица 47

Вымыв солей из метрового слоя почвы в зависимости от норм промывки и зоны влияния дренажа, кг/м³

Номер варианта	Опыт 1			Опыт 2		
	Плотный остаток	Токсичные соли	Хлор-ион	Плотный остаток	Токсичные соли	Хлор-ион
1	0,98	1,05	0,56	1,26	1,33	0,56
2	1,21	1,54	0,51	1,40	1,03	0,51
3	1,16	0,88	0,46	1,33	1,09	0,46
4	1,05	1,54	0,49	1,19	0,91	0,63
5	1,21	1,63	0,56	1,12	1,31	0,47
6	1,26	1,37	0,53	1,12	0,98	0,39

В конце вегетации отмечалось сезонное накопление солей (табл. 48). Наиболее интенсивно оно проявлялось в верхнем слое почвы (0—100 см). При меньшем исходном содержании солей, а следовательно, на фоне больших промывных норм коэффициент сезонного засоления в метровом слое почвы в опыте 1 составил 1,10—1,29 по токсичным слоям и 1,35—2,0 по хлор-иону, в опыте 2 — соответственно 1,15—1,27 и 1,64—2,0. Интенсивность сезонного соленакопления возрастала по мере удаления от скважины вертикального дренажа или горизонтальной дрены.

На фоне вертикального дренажа в зоне его интенсивного действия промывной нормой 3000 м³/га за 3 года из верхнего метро-

Таблица 48

Изменение содержания солей в почве за вегетацию в зависимости от норм промывки и интенсивности влияния дренажа, % (среднее за 1979—1981 гг.)

Номер варианта	Слой почвы, см	Весна			Осень		
		Плотный остаток	Токсичные соли	Хлор-ион	Плотный остаток	Токсичные соли	Хлор-ион
		Опыт 1					
1	0—100	0,231	0,125	0,014	0,252	0,141	0,019
	0—300	0,214	0,122	0,018	0,240	0,134	0,023
2	0—100	0,192	0,096	0,008	0,221	0,114	0,014
	0—300	0,191	0,105	0,014	0,216	0,122	0,019
3	0—100	0,155	0,087	0,007	0,186	0,112	0,014
	0—300	0,172	0,094	0,011	0,201	0,118	0,016
4	0—100	0,304	0,169	0,020	0,325	0,186	0,027
	0—300	0,290	0,166	0,022	0,302	0,179	0,028
5	0—100	0,255	0,130	0,012	0,283	0,151	0,019
	0—300	0,258	0,144	0,016	0,279	0,162	0,020
6	0—100	0,226	0,115	0,008	0,262	0,143	0,015
	0—300	0,234	0,123	0,014	0,264	0,148	0,018
		Опыт 2					
1	0—100	0,187	0,105	0,009	0,213	0,124	0,014
	0—300	0,444	0,259	0,013	0,484	0,292	0,017
2	0—100	0,172	0,091	0,007	0,206	0,113	0,014
	0—300	0,421	0,236	0,010	0,473	0,278	0,015
3	0—100	0,158	0,086	0,007	0,195	0,109	0,014
	0—300	0,392	0,213	0,009	0,451	0,256	0,015
4	0—100	0,218	0,127	0,011	0,242	0,143	0,018
	0—300	0,491	0,278	0,012	0,525	0,309	0,016
5	0—100	0,181	0,093	0,008	0,208	0,112	0,015
	0—300	0,449	0,247	0,011	0,494	0,284	0,015
6	0—100	0,167	0,085	0,007	0,199	0,106	0,014
	0—300	0,436	0,234	0,010	0,471	0,267	0,015

вого слоя вымывалось 23% токсичных солей и 20% хлор-иона. В зоне умеренного действия дренажа только при норме 4000 м³/га произошло снижение содержания токсичных солей в слое 0—100 см на 16,2%, хлор-иона на 23,1%.

В опыте 2 на фоне горизонтального дренажа в придренной зоне (0—40 м) за 3 года содержание токсичных солей в слое 0—100 см при промывной норме 2,0 тыс. м³/га снизилось на 9,7%, а хлор-иона — на 15,8%. В трехметровом слое рассоление протекало аналогичным образом, но менее интенсивно (табл. 49). В середине междренного расстояния наибольшее рассоление достигнуто при промывной норме 3,0 тыс. м³/га.

Таблица 49

Динамика содержания солей в почве при промывках в зависимости от зоны действия дренажа, %

Номер варианта	Опыт 1				Опыт 2			
	Исходное содержание XI. 1978 г.		Конечное содержание X. 1981 г.		Исходное содержание XI. 1978 г.		Конечное содержание X. 1981 г.	
	Сумма токсичных солей	Хлор-ион	Сумма токсичных солей	Хлор-ион	Сумма токсичных солей	Хлор-ион	Сумма токсичных солей	Хлор-ион
1	0,137	0,022	0,142	0,024	0,123	0,019	0,111	0,016
	0,127	0,021	0,120	0,023	0,286	0,017	0,271	0,016
2	0,146	0,021	0,112	0,017	0,126	0,020	0,109	0,016
	0,138	0,019	0,109	0,015	0,296	0,017	0,269	0,015
3	0,136	0,021	0,091	0,017	0,127	0,022	0,102	0,016
	0,127	0,020	0,105	0,015	0,282	0,018	0,253	0,014
4	0,166	0,026	0,188	0,029	0,134	0,022	0,128	0,020
	0,161	0,024	0,183	0,029	0,321	0,017	0,294	0,016
5	0,165	0,025	0,161	0,024	0,128	0,020	0,116	0,017
	0,156	0,023	0,156	0,021	0,319	0,017	0,282	0,015
6	0,173	0,026	0,145	0,020	0,135	0,021	0,105	0,016
	0,166	0,024	0,151	0,019	0,322	0,019	0,268	0,016

Примечание. Числитель — в слое почвы 0—100 см, знаменатель — в слое 0—300 см.

Сложившийся водно-солевой режим по-разному сказался на урожайности хлопчатника (табл. 50). Наиболее высокий урожай хлопка-сырца на фоне вертикального дренажа был получен в

Таблица 50

Урожайность хлопка-сырца в зависимости от норм промывки и зоны влияния дренажа, т/га

Номер варианта	Опыт 1				Опыт 2			
	1979 г.	1980 г.	1981 г.	Среднее	1979 г.	1980 г.	1981 г.	Среднее
1	3,48	3,56	3,44	3,49	3,27	3,50	3,31	3,36
2	3,93	3,99	3,87	3,93	3,34	3,55	3,28	3,39
3	3,96	4,04	3,89	3,96	3,37	3,52	3,31	3,40
4	3,23	3,32	3,20	3,25	2,96	3,34	3,12	3,14
5	3,59	3,81	3,56	3,65	3,06	3,53	3,19	3,26
6	3,84	3,97	3,88	3,90	3,29	3,50	3,22	3,34

зоне его интенсивного действия. Здесь при норме промывки 3000 м³/га в среднем за 3 года урожай (3,93 т/га) был выше на 0,44 т/га, чем при промывке почвы нормой 2000 м³/га. Увеличение нормы промывки до 4000 м³/га дало несущественную прибавку по сравнению с оптимальной нормой. В зоне умеренного действия вертикального дренажа высокий урожай был получен при норме 4000 м³/га (3,90 т/га). Он был выше на 0,25 т/га по сравнению с нормой 3000 м³/га и на 0,65 т/га в сравнении с нормой 2000 м³/га.

На фоне горизонтального дренажа с промывным режимом орошения урожай хлопка-сырца в придренной полосе мало изменялся в зависимости от промывной нормы и в среднем составил 3,36—3,40 т/га. В середине междренья лучшие результаты по урожайности при экономном расходовании воды получены при промывной норме 3000 м³/га (в среднем 3,26 т/га). Уменьшение нормы до 2000 м³/га повлекло за собой снижение урожая на 0,12 т/га, а увеличение нормы промывки до 4000 м³/га повысило урожай несущественно.

Таблица 51

Оптимальные нормы промывок на орошаемых землях Голодной степи, тыс. м³/га

Характеристика почвогрунтов по механическому составу и строению	Содержание хлор-иона в слое почвы 0—100 см, %	Год промывки	На фоне вертикального дренажа		На фоне горизонтального дренажа	
			Зона интенсивного действия (до 300 м)	Зона умеренного действия (300 м и более)	Расстояние от дрены 0—40 м	Расстояние от дрены 40—150 м
Мелиоративный период						
Средние и легкие суглинки, однородные	0,07—0,10	1	6—6,5	6,5—7	6,5—7	7—7,5
		2	4—4,5	4,5—5	4,5—5	5—5,5
		3	3—3,5	3,5—4	3,5—4	4—4,5
	0,10—0,20	1	7—7,5	7,5—8	7,5—8	8—8,5
		2	5—5,5	5,5—6	5,5—6	6—6,5
		3	4,5—5	5—5,5	5—5,5	5,5—6
Разные по механическому составу, слоистые	0,07—0,10	1	7—7,5	7,5—8	7,5—8	8—8,5
		2	6—6,5	6,5—7	6,5—7	7—7,5
		3	4,5—5	5—5,5	5—5,5	5,5—6
	0,10—0,20	1	7,5—8	8—8,5	8—8,5	8,5—9
		2	5,5—6	6—6,5	6—6,5	6,5—7
		3	5—5,5	5,5—6	5,5—6	6—6,5
Эксплуатационный период						
Средние и легкие суглинки, однородные	0,01—0,04	1	2—2,5	2,5—3	2,5—3	3—3,5
	0,04—0,07	1	4—4,5	4,5—5	4,5—5	5—5,5
		2	3—3,5	3,5—4	3,5—4	4—4,5
Разные по механическому составу, слоистые	0,01—0,04	1	2,5—3	3—3,5	3—3,5	3,5—4
	0,04—0,07	1	5—5,5	5,5—6	5,5—6	6—6,5
		2	4—4,5	4,5—5	4,5—5	5—5,5

Таким образом, при разной степени дренированности почв требуется дифференцированный подход к установлению промывных норм. В староорошаемой зоне в радиусе наиболее интенсивного действия вертикального дренажа оптимальный водно-солевой режим почв, обеспечивающий наибольший урожай хлопка-сырца, создается при промывной норме 3000 м³/га, а в зоне умеренного его влияния — 4000 м³/га. В новоорошаемой зоне на фоне горизонтального дренажа различия в водно-солевом режиме и урожае в зависимости от степени дренированности были менее выражены. В зоне интенсивного влияния дренажа (придренная полоса) благоприятный водно-солевой режим и высокая урожайность достигаются нормой 2000 м³/га, а в зоне умеренного влияния (середина междренной полосы) — нормой 3000 м³/га.

Промывка засоленных земель на фоне дренажа существенно улучшает водно-солевой режим почв и создает благоприятные условия для получения высоких урожаев хлопка-сырца. Обобщение результатов собственных исследований, а также опубликованных данных позволило рекомендовать оптимальные промывные нормы для засоленных земель в мелиоративный и эксплуатационный периоды для разных типов дренажа в зависимости от степени засоления почвы, водно-физических свойств почвогрунта в слое аэрации и степени дренированности поливного участка (табл. 51).

Глава IV

РЕГУЛИРОВАНИЕ ВОДНОГО И СОЛЕВОГО РЕЖИМОВ ПОЧВ ПРИ ОРОШЕНИИ

РЕЖИМ ОРОШЕНИЯ ХЛОПЧАТНИКА

В аридной зоне важнейшим фактором регулирования водного и солевого режимов почв является орошение. По вопросу оптимального режима предполивной влажности почвы имеется многочисленная литература (Рыжов, 1948; Еременко, 1959; Беспалов, 1970; Меднис, 1973; Лев, Хасанов, 1978). Большинство исследователей рекомендуют проводить поливы по влажности 70—70(75)—60% НВ. А. В. Николаев (1956) предлагает поддерживать постоянную предполивную влажность на уровне 80% от НПВ. На засоленных почвах поливами необходимо поддерживать не только оптимальный водный режим, но и создавать мощную толщу опресненного слоя (Шредер, 1969; Рыжов, Беспалов, 1980). В решениях Ташкентского совещания по борьбе с засолением (1965 г.) рекомендованы размеры промывного режима, со-

ставляющие 10—30% от оросительной нормы. В некоторых странах мира поливы назначают по снижению запаса доступной влаги до 50%. Водопотребление хлопчатника в разных природных зонах варьирует в широких пределах (5—12 тыс. м³/га) в зависимости от уровня стояния грунтовых вод, механического состава почв и уровня предполивной влажности (Киселева. 1957; Преображенская. 1964; Алимов. 1966. 1970; Ганиев. 1974).

Для установления водопотребления хлопчатника при различном уровне грунтовых вод нами в 1969—1973 гг. проводились лизиметрические исследования (совхоз «Пахтаарал»). Уровень грунтовых вод в лизиметрах поддерживался постоянным на глубинах 1 м; 1.5; 2; 2.5; 3; 3,5 и 4 м, а также переменным в соответствии с фактическим их залеганием — на глубине 1.5—3,5 и 2—4 м, снижаясь с глубины 1,5—2 м (в период посева) до 3,5—4 м (при уборке). Промывку почвы в лизиметрах в конце вегетации в зависимости от засоленности почв проводили нормой 3—5 тыс. м³/га. С изменением уровня стояния грунтовых вод (1—4 м) их использование было неодинаковым и колебалось от 12 до 8378 м³/га (табл. 52, рис. 25).

Таблица 52

Испарение грунтовых вод в лизиметрах (среднее за 1970—1973 гг.), м³/га

Уровень грунтовых вод, м	Месяц вегетации						Сумма
	IV	V	VI	VII	VIII	IX	
1,0	123	822	1914	2152	2433	934	8378
1,5	97	241	687	1758	1912	775	5510
2,0	22	119	295	1218	1350	359	3363
2,5	—	26	146	824	1116	268	2380
3,0	—	—	34	258	393	63	748
3,5	—	—	—	122	156	—	278
4,0	—	—	—	—	12	—	12
1,5—3,5	—	169	328	947	1286	315	3045
2—4	—	37	116	462	658	92	1365

Зависимость испарения грунтовых вод от глубины их залегания (в пределах от 1 до 2,5—3 м) и других факторов имеет вид

$$I = 1973/e^{0,86h}, \qquad (10)$$

где I — использование грунтовых вод за период вегетации, мм; h — глубина грунтовых вод, м.

Водопотребление хлопчатника в зависимости от уровня стояния грунтовых вод и года исследований изменялось от 6350 до 11401 м³/га (табл. 53). При этом из грунтовых вод на водопотребление использовалось от 0 до 85%. Наибольшее водопотребление хлопчатника наблюдалось при глубине грунтовых вод 1 м, а наименьшее — при уровне стояния на 3,5—4 м. В условиях переменного залегания слабоминерализованных грунтовых вод водо-

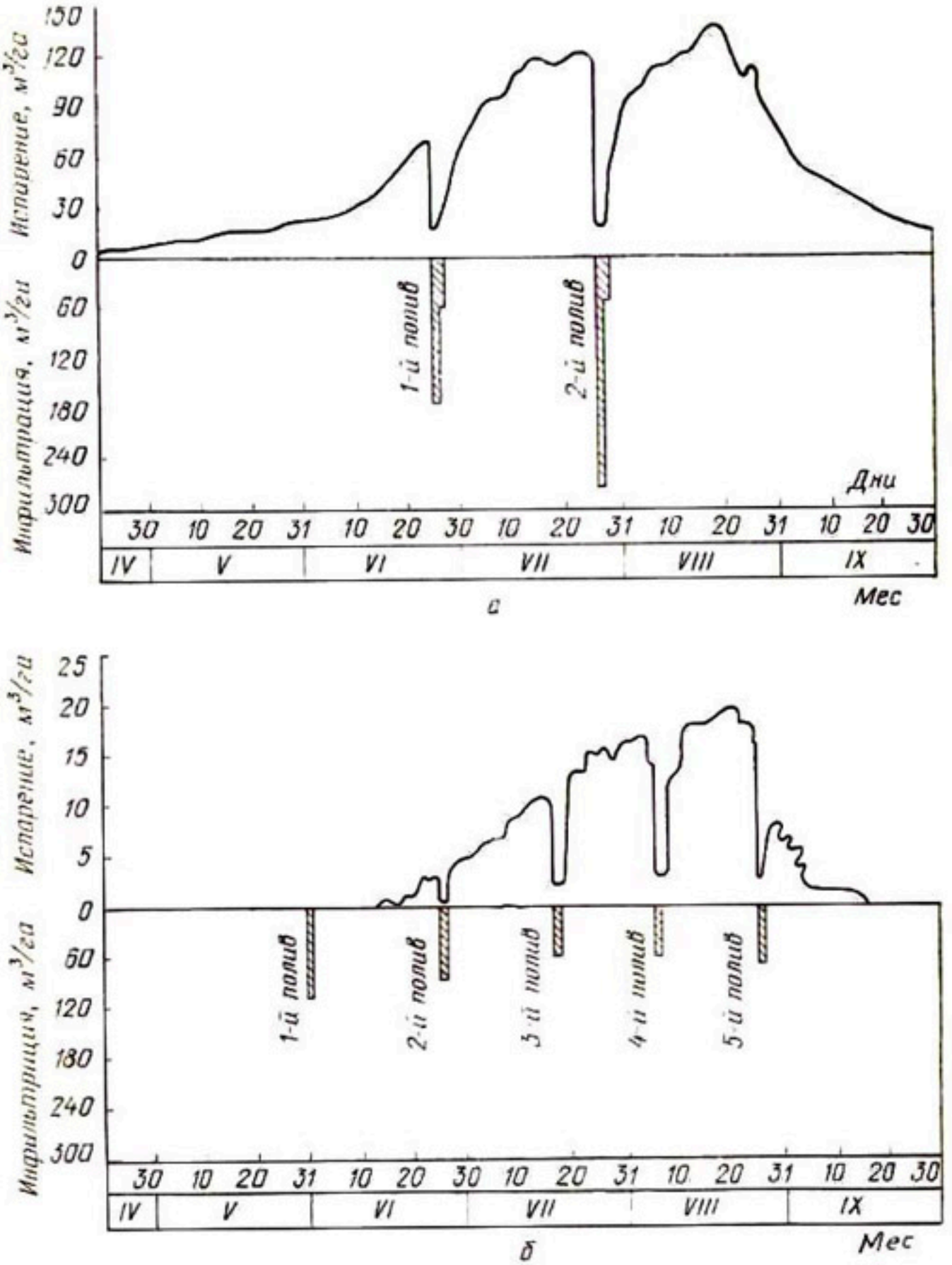


Рис. 25. Испарение и инфильтрационное питание грунтовых вод в лизиметрах с хлопчатником:

а — глубина грунтовых вод 1 м; *б* — 3 м

потребление составляет в среднем 7622 м³/га при снижении грунтовых вод от 1,5 до 3,5 м и 7121 м³/га — от 2 до 4 м.

Таблица 53

Расход воды хлопковым полем в зависимости от глубины грунтовых вод по данным лизиметрических опытов

Уровень грунтовых вод, м	Расход воды, м³/га				
	всего	оросительной	почвенной	атмосферной	грунтовой
1,0	10414	1040	375	621	8378
1,5	8640	2020	489	621	5510
2,0	7704	3088	683	621	3363
2,5	7351	3588	762	621	2380
3,0	6775	4545	861	621	748
3,5	6746	4885	963	621	278
4,0	6680	4958	1074	621	12
1,5—3,5	7622	2390	1566	621	3045
2,0—4,0	7121	3358	1828	621	1365

Расход грунтовых вод хлопковым полем при переменном уровне ее стояния от 1,5 до 3,5 м в среднем составил 39,9%, а от 2 до 4 м — 19,2% от общего расхода. В зависимости от уровня стояния грунтовых вод изменились число поливов и оросительная норма. При глубине стояния грунтовых вод 1 м потребовалось лишь 1—2 полива нормой 700 м³/га (в условиях многоводного 1969 г. поливы не проводили) и их доля составляла 10% от водопотребления, а при глубине 3 м было проведено 4—6 поливов и использовано оросительной воды 4545 м³/га, что составляет 67% от суммарного расхода.

Почвенная влага в водном балансе занимает в среднем 3,6% при глубине грунтовых вод 1 м и 12,7—16,7% при уровне 3—4 м, а атмосферные осадки соответственно 6 и 9%. Затраты оросительной воды варьировали от 220 до 1490 м³/т и находились в обратной зависимости от расхода грунтовых вод. Поддержание переменного уровня стояния грунтовых вод (от 2 до 4 м за вегетацию) обеспечило получение высоких урожаев хлопчатника при сравнительно низком коэффициенте водопотребления (1570 м³/т).

При планировании урожая, а следовательно, потребности растений в воде представляют интерес данные о водопотреблении хлопчатника в зависимости от почвенных условий (Шуравилин, 1980, 1982). В совхозе «Ташкент» Джизакской области на среднесуглинистых почвах при уровне грунтовых вод 3—4 м суммарное водопотребление в среднем за 1972—1974 гг. составило 677 мм, а в совхозе «Советская Россия», расположенном в той же области, за 1973—1976 гг. на легких суглинистых почвах — 763 мм (табл. 54). Следовательно, с утяжелением механического состава почвы происходит снижение водопотребления.

Таблица 54

Суммарное потребление воды хлопчатником, мм

Почва	Совхоз	Месяц вегетации						Итого
		IV	V	VI	VII	VIII	IX	
Средний суглинок	Ташкент	43	75,9	106,3	204,4	179,4	68	677
Лёгкий суглинок	Советская Россия	38,8	77,6	136,0	228,0	206,5	76,6	763

Водопотребление хлопчатника в значительной степени изменялось в зависимости от наличия в почве легкодоступной влаги. На слабозасоленных почвах среднесуглинистого механического состава повышение предполивной влажности почвы от 60 до 80% НВ увеличило водопотребление хлопчатника на 146—188 мм, или на 20,9—30,6% (табл. 55). В нашем опыте на легкосуглинистых сероземах водопотребление было выше, чем на среднесуглинистых на 85—140 мм и составляло 553—699 мм (без учета расхода грунтовых вод). Значительно больший расход воды хлопковым полем на легкосуглинистых почвах по сравнению со средне-

Таблица 55

Влияние предполивной влажности на водопотребление хлопчатника (без учета подпитывающего влияния грунтовых вод) Среднее за 1972—1975 гг.

Показатели	Режим предполивной влажности почвы, % НВ				
	80—80	70—80	70—70	60—70	60—60
Средние суглинки					
Количество проведенных поливов	7	5	4	3	2
Оросительная норма, мм	490	370	350	300	240
Использованные запасы влаги из почвы, мм	65	73	84	106	127
Атмосферные осадки, мм	59	59	59	59	59
Водопотребление, мм	614	502	493	465	426
Урожайность хлопка-сырца, т/га	3,32	3,39	3,57	3,26	2,88
Легкие суглинки					
Количество проведенных поливов	8	6	5	4	3
Оросительная норма, мм	560	490	460	420	360
Использованные запасы влаги из почвы, мм	54	67	72	96	108
Атмосферные осадки, мм	85	85	85	85	85
Водопотребление, мм	699	642	617	601	553
Урожайность хлопка-сырца, т/га	3,21	3,36	3,48	3,24	2,65

суглинистыми вызван большей величиной инфильтрации оросительных вод. Оптимальный водный режим хлопчатника был получен при поливах по влажности почвы 70—70% НВ. При этом на среднесуглинистых почвах дано 4 полива, а на легкосуглинистых — 5. Следует отметить, что режим влажности почвы 70—70%. НВ соответствует снижению запаса доступной влаги в метровом слое почвы перед поливом на 50%.

При проектировании оросительных систем используется расчетный метод для определения нормы водоподачи. Наиболее близкие результаты были получены по формулам А. М. Алпатьева и Блейни — Криддла (коэффициенты культуры соответственно 0,35 и 0,7). Среднее расчетное водопотребление хлопчатника по этим формулам для метеостанций Голодной степи в возрастающем порядке будет иметь следующие значения: Пахтаарал — 725 мм, совхоз им. Ленина — 730, Мирзачуль — 735, Янгиер — 763, Урсатьевская — 961 мм.

Орошению хлопчатника и влиянию его на водный режим почв и урожай хлопка-сырца посвящено значительное количество работ (Еременко, 1957; Гильдиев, 1962; Меднис, 1971; Беспалов, 1970).

Однако различные сорта неодинаково реагируют на режим предполивной влажности и сроки поливов. Исследования по оптимизации режима орошения хлопчатника при бороздковом способе орошения проводились в совхозе «Пахтаарал» и на Пахтааральской опытной станции. Опыт по изучению поливного режима хлопчатника сорта 108-Ф со схемой посева 60×20—(1—2) был заложен в 1967 г. по пласту люцерны и проводился по одной и той же схеме. Эксплуатационный промывной полив нормой 3000 м³/га ежегодно давали по зяби в осенне-зимний период. Поливы в вариантах № 1, 2, 3 и 5 проводились по влажности почвы нормой, рассчитанной по дефициту влаги в слое 0—100 см. В варианте № 4 предполивная влажность поддерживалась такой же, как и в варианте № 3, но норма полива принималась на 25% больше. Грунтовые воды залегали на глубине 1,4—1,7 м в начале вегетации, снижаясь до 3,3—3,8 м к уборке. Результаты опыта показали на целесообразность поддержания влажности почвы на уровне 70—70% НВ (соответственно фазам бутонизации и цветения — плодообразования). Причем норма полива должна устанавливаться по дефициту влаги в метровом слое почвы (табл. 56). Все другие режимы влажности оказались менее эффективными. В очень многоводные годы (1969 г.) достаточно было в конце июля одного полива нормой 1070 м³/га.

Оптимальный режим орошения поддерживался одним поливом в фазу бутонизации и двумя поливами в период цветения — плодообразования со средней поливной нормой 960—1100 м³/га. Поливы проводились в период с 20—29 июня по 10—16 августа с межполивным интервалом 26—30 дней. При этом оросительная норма составляла 3000—3300 м³/га. В 1968 г. потребовалось 2 полива по схеме 0—2—0, средней поливной нормой 1105 м³/га. По-

Таблица 56

Влияние различных режимов орошения на урожайность хлопчатника сорта 108-Ф

Номер варианта	Предполивная влажность почвы, % НВ	Поливная норма, м³/га	Оросительная норма, м³/га	Оросительный период	Схема полива	Урожайность хлопка-сырца, т/га
1967 г. (глубина грунтовых вод от весны к осени 1,7—3,8 м)						
1	60—60	1356	1356	20/VII	0—1—0	2,96
2	60—70	1000—1120	2120	9/VII—5/VIII	0—2—0	3,62
3	70—70	1100	3300	20/VI—16/VIII	1—2—0	3,84
4	70—70	1375	2750	20/VI—24/VII	1—1—0	3,79
5	70—80	796—995	3383	20/VI—18/VIII	1—3—0	3,25
1968 г. (глубина грунтовых вод от весны к осени 1,6—3,6 м)						
1	60—60	1360	1360	23/VII	0—1—0	2,88
2	60—70	980	1960	29/VII—28/VIII	0—2—0	3,49
3	70—70	1105	2210	28/VI—2/VIII	0—2—0	3,53
4	70—70	1376	2752	28/VI—2/VIII	0—2—0	3,51
5	70—80	820	2460	26/VI—8/VIII	0—3—0	3,07
1969 г. (глубина грунтовых вод от весны к осени 1,4—3,3 м)						
1	60—60	0	0	—	—	2,28
2	60—70	1070	1070	26/VII	0—1—0	2,75
3	70—70	1120	1120	29/VII	0—1—0	2,74
4	70—70	1370	1370	29/VII	0—1—0	2,76
5	70—80	815—988	1803	14/VII—16/VIII	1—1—0	2,69
1970 г. (глубина грунтовых вод от весны к осени 1,8—3,9 м)						
1	60—60	1280	1280	16/VII	0—1—0	2,56
2	60—70	990	1980	7/VII—2/VIII	0—2—0	2,72
3	70—70	960—1020	3000	16/VI—10/VIII	1—2—0	2,88
4	70—70	1200—1270	3740	16/VI—14/VIII	1—2—0	2,85
5	70—80	730—960	3150	16/VI—16/VIII	1—3—0	2,83

ливы проведены в период цветения — плодообразования (с 28 июня по 2 августа). Увеличение поливной нормы на 25% при предполивной влажности 70—70% НВ не обеспечивало повышения урожая хлопка-сырца. В этом случае в отдельные годы происходило сокращение числа вегетационных поливов на один.

Данные по солевому режиму почв подтверждают, что при слабой и средней степени минерализации грунтовых вод (плотный

остаток от весны к осени варьирует в пределах 2,5—8 г/л и хлорион — 0,3—0,9 г/л) при режиме влажности 60% НВ произошло ухудшение солевого режима почв, а в оптимальном варианте почва метрового слоя в период вегетации оставалась практически незасоленной (с переходом к концу вегетации в слабозасоленную).

Сорт хлопчатника 108-Ф в старой зоне орошения в сильной степени подвержен заболеванию вилтом, поэтому с 1970—1971 гг. стали высевать сорт Ташкент-1, обладающий высокой урожайностью, устойчивостью к вилту и дружным раскрытием коробочек. Опыты по обоснованию режима орошения среднеспелого сорта хлопчатника Ташкент-1 проводились в отделении имени Коминтерна совхоза «Пахтаарал» в 1970—1972 гг. В период исследований глубина стояния грунтовых вод составляла 3—4,5 м, минерализация их — 4,3—5,7 г/л по плотному остатку и 0,3—0,4 г/л по хлору. Результаты исследований показали, что наиболее благоприятные условия создаются при влажности 70—70% НВ (табл. 57). При норме 1000—1100 м³/га было проведено 3 полива (оросительная норма 3200 м³/га) по схеме 1—2—0. Первый полив проводили в период массовой бутонизации и появления первых

Таблица 57

Урожайность хлопчатника сорта Ташкент-1 в зависимости от режимов орошения, т/га

Номер варианта	Предполивная влажность почвы, % НВ	Поливная норма, м³/га	Оросительная норма, м³/га	Оросительный период	Схема полива	Урожайность хлопка-сырца, т/га
			1971 г.			
1	60—60	1300—1350	2650	24/VII—19/VIII	0—2—0	3,42
2	60—70	960—1040	3000	2/VII—19/VIII	0—3—0	3,94
3	70—70	1000—1100	3200	18/VI—12/VIII	1—2—0	3,98
4	70—80	1250—1350	3950	18/VI—16/VIII	1—2—0	4,03
5	70—80	800—1000	4200	18/VI—10/VIII	1—4—0	3,65
			1972 г.			
1	60—60	1350	1350	26/VII	0—1—0	3,54
2	60—70	980—1050	2030	5/VII—2/VIII	0—2—0	3,89
3	70—70	1000—1100	3200	20/VI—16/VIII	1—2—0	4,21
4	70—70	1250—1350	2600	20/VI—28/VII	1—1—0	4,03
5	70—80	800—1000	3400	16/VI—14/VIII	1—3—0	3,77
			1973 г.			
1	60—60	1300—1350	2650	22/VII—18/VIII	0—2—0	3,48
2	60—70	980—1040	3060	1/VII—12/VIII	0—3—0	4,07
3	70—70	1000—1100	3200	19/VI—10/VIII	1—2—0	4,12
4	70—70	1250—1350	3950	19/VI—15/VIII	1—2—0	4,05
5	70—80	800—1000	3400	19/VI—11/VIII	1—3—0	3,68

цветков, остальные — в фазу цветения (15—20 июля и 10—16 августа). Таким образом, период орошения продолжался 52—57 дней — с 18—20 июня по 10—16 августа.

При поливе повышенными нормами 1250—1350 м³/га (25% сверх дефицита) число поливов в течение 2 лет не изменилось, а в 1972 г. проведено на один полив меньше. В среднем при норме поливов, превышающей дефицит расчетного слоя почвы на 25%, урожай хлопка был ниже на 0,06 т/га (хотя в отдельные годы отмечалось несущественное повышение урожая), чем при поливах по дефициту влаги. Худшие условия для роста и развития были при поливах по влажности почвы 60—60% НВ с оросительной нормой 1350—2700 м³/га. Таким образом, как повышенный, так и пониженный режимы предполивной влажности не создают оптимальных условий для получения высоких урожаев хлопка-сырца.

При влажности 70—70% НВ и поливах нормами, рассчитанными по дефициту активного слоя почвы, сложился также благоприятный солевой режим почвы. Почва метрового слоя оставалась практически незасоленной в начале вегетации и переходила в разряд слабозасоленных к концу вегетации. Таким образом, при поддержании предполивной влажности 70—70% НВ и поливах по схеме 1—2—0 нормой, рассчитанной на увлажнение метрового слоя, при оросительной норме 3,2 тыс. м³/га создается самый благоприятный водно-солевой режим почв, обеспечивающий получение наиболее высоких урожаев хлопка-сырца.

В период с 1970 по 1972 г. в совхозе «Пахтаарал» проводили исследования по режиму орошения более скороспелого, чем Ташкент-1, сорта хлопчатника С-4727 на двух опытных участках с различной глубиной залегания грунтовых вод. На первом опытном участке грунтовые воды во время вегетации находились на глубине 1,8—3,8 м, на втором — 3—4,5 м. Степень минерализации грунтовых вод изменялась от 3,36 до 5,68 г/л по плотному остатку и от 0,18 до 0,38 г/л по хлор-иону. В первом и втором вариантах поливная норма устанавливалась по дефициту влаги в метровом слое почвы и поливы проводились соответственно при влажности 70—75 и 70—70% НВ. В третьем варианте предполивная влажность поддерживалась на уровне 70—70% НВ, но поливная норма принималась на 25% больше дефицита влаги. При сравнительно неглубоком стоянии грунтовых вод (1,8—3,8 м) благоприятный режим орошения создавался при нижнем пределе влажности 70—75% НВ и поливах нормами, рассчитанными по дефициту метрового слоя почвы. При этом один полив проводили в фазу бутонизации и два полива в период цветения — плодообразования по схеме 1—2—0 с оросительной нормой 2650 м³/га. В этих условиях рост и развитие хлопчатника протекали интенсивно. Средняя урожайность хлопка составила 4,14 т/га с колебаниями по годам от 4,09 до 4,22 т/га при затратах оросительной воды 587 м³/т (табл. 58). На фоне глубокого залегания грунтовых вод при поддержании оптимального режима

Таблица 58

Урожайность хлопка-сырца сорта С-4727 в зависимости от режима орошения по годам

Номер варианта	1970 г.			1971 г.			1972 г.		
	Схема полива	Оросительная норма, м³/га	Урожайность хлопка-сырца, т/га	Схема полива	Оросительная норма, м³/га	Урожайность хлопка-сырца, т/га	Схема полива	Оросительная норма, м³/га	Урожайность хлопка-сырца, т/га
Опыт 1 (глубина грунтовых вод 1,8—3,8 м)									
1	1—2—0	2700	4,09	1—2—0	2600	4,11	1—2—0	2650	4,22
2	1—2—0	2250	3,98	0—2—0	2200	3,96	0—2—0	2200	4,09
3	0—2—0	2700	3,96	0—2—0	2700	3,92	0—2—0	2700	4,07
Опыт 2 (глубина грунтовых вод 3—4,5 м)									
1	1—3—0	3460	4,03	1—3—0	3400	4,06	1—3—0	3340	4,14
2	1—2—0	2900	3,92	1—2—0	2950	3,96	1—2—0	2850	4,03
3	1—2—0	3700	3,89	1—2—0	3750	3,94	1—2—0	3650	4,00

влажности почвы 70—75% НВ число поливов возрастало на один.

Полевые исследования по изучению режима орошения раннеспелого сорта хлопчатника Ташкент-6 проводились в 1979—1981 гг. в совхозе «Пахтаарал». Влажность почвы перед поливами составляла: 70—70% НВ (вариант № 1), 70—75% (вариант № 2) и 70—80% НВ (вариант № 3). Грунтовые воды залегали на глубине 2,8—4,3 м. Для поддержания заданного режима предполивной влажности потребовалось провести различное количество поливов. При этом изменялись величины поливных и оросительных норм (табл. 59). Наиболее благоприятные условия для формирования высокого урожая хлопчатника сорта Ташкент-6 были созданы при поливе по влажности 70—75% НВ. Для поддержания такой влажности потребовалось провести 4 полива по схеме 1—3—0. Поливные нормы колебались в фазу бутонизации от 920 до 950 м³/га, а в фазу цветения — плодообразования — от 830 до 850 м³/га. Оросительная норма изменялась от 3420 до 3500 м³/га.

При минерализации грунтовых вод 3,94—5,85 г/л по плотному остатку и 0,36—0,48 г/л по хлор-иону и средней глубине их залегания за вегетацию 3,3 м существенного соленакопления в почве не отмечалось. Таким образом, нижний предел оптимальной влажности почвы перед поливом для хлопчатника сортов 108-Ф и

Таблица 59

Влияние различных режимов орошения на урожайность хлопчатника сорта Ташкент-6 по годам

Номер варианта	Предполивная влажность почвы, % НВ	Поливная норма, м³/га	Оросительная норма, м³/га	Оросительный период		Схема полива	Урожайность хлопка-сырца, т/га
			1979 г.				
1	70—70	920—990	2900	26.VI	10.VIII	1—2—0	3.98
2	70—75	840—920	3440	25.VI	15.VIII	1—3—0	4.17
3	70—80	680—920	2960	26.VI	20.VIII	1—3—0	3,91
			1980 г.				
1	70—70	930—1000	2930	23.VI	5.VIII	1—2—0	3.77
2	70—75	830—930	3420	23.VI	14.VIII	1—3—0	3.99
3	70—80	680—930	2970	23.VI	12.VIII	1—3—0	3.82
			1981 г.				
1	70—70	950—980	2910	20.VI	7.VIII	1—2—0	3.71
2	70—75	850—950	3500	19.VI	12.VIII	1—3—0	3.97
3	70—80	690—950	3020	20.VI	10.VIII	1—3—0	3.68

Ташкент-1 на опресненных и слабозасоленных почвах составляет 70% НВ. В период созревания влажность почвы может быть снижена до 60%. Скороспелые сорта более требовательны к воде и благоприятно реагируют на повышение влажности почвы до 75% НВ. При снижении грунтовых вод с 1,8—3,8 до 3—4.5 м оросительная норма увеличивалась, а число поливов возрастало на один.

С целью изучения эффективности влагозарядково-промывного полива и его влияния на режим орошения хлопчатника в 1974—1976 гг. в совхозе «Советская Россия» Мирзачульского района Джизакской области были проведены полевые опыты по следующей схеме: вариант № 1 — влагозарядково-промывной полив нормой 2 тыс. м³/га и вариант № 2 — без него. Влажность почвы перед вегетационными поливами поддерживалась на уровне 70—70% НВ. Поливная норма устанавливалась из расчета увлажнения метровой толщи почвы. Грунтовые воды находились на глубине от 2,6 до 4,5 м. Минерализация их в период вегетации была довольно высокой (5,7—16,9 г/л по плотному остатку и 1,25—3,90 по хлор-иону).

В зависимости от нормы невегетационных поливов изменялся и поливной режим хлопчатника (табл. 60). На фоне влагозарядково-промывного полива в период вегетации было подано 4 полива по схеме 1—3—0 поливными нормами 800—950 м³/га и ороси-

Таблица 60

Режим орошения и урожайность хлопка-сырца в зависимости от влагозарядково-промывного полива по годам

Номер варианта	Норма полива, м³/га	Межполивной период, дни	Оросительный период	Схема полива	Оросительная норма, м³/га	Общая водоподача, м³/га	Урожайность, т/га
			1975 г.				
1	800—900	25—28	30.V—18.VIII	1—3—0	3500	5500	3,16
2	800—950	20—23	12.IV—21.VIII	1*—2—3—0	5400	5400	2,87
			1976 г.				
1	800—950	20—22	12.VI—13.VIII	1—3—0	3550	5550	3,38
2	800—1000	18—24	20.V—16.VIII	2—3—0	4800	4800	2,94
			1977 г.				
1	800—950	20—24	14.VI—19.VIII	1—3—0	3600	5600	3,45
2	800—1000	20—24	22.V—17.VIII	2—3—0	4800	4800	2,90

* Подпитывающий полив.

тельной нормой 3500—3600 м³/га. При отсутствии влагозарядково-промывного полива в 1976—1977 гг. проведено 5 поливов по схеме 2—3—0, т. е. на один полив больше. Оросительная норма в эти годы составляла 4800 м³/га. В 1975 г. при засушливой весне для получения всходов хлопчатника потребовалось провести подпитывающий полив нормой 800 м³/га. Таким образом, проведено 6 поливов оросительной нормой 5300 м³/га. Проведение влагозарядкового полива обеспечило повышение урожайности хлопчатника на 0,29—0,55 т/га. Хотя общая водоподача при этом возросла на 300—800 м³/га, однако удельные затраты воды не увеличились.

Влажность метрового слоя почвы на период посева в варианте № 1 была выше на 2,1—3,0%. В период вегетационных поливов в корнеобитаемом слое она выравнивалась.

Влагозарядковые поливы заметно влияли на улучшение солевого режима почв (табл. 61). Из верхнего метрового слоя почвы ежегодно вымывалось 29—39% плотного остатка и 36—50% хлор-иона. Отсутствие влагозарядково-промывного полива приводило к постоянному соленакоплению. В вегетационный период почва остается незасоленной или слабозасоленной (к концу вегетации) в варианте № 1 и слабозасоленной — в варианте № 2.

Неодинаковое понижение уровня грунтовых вод в зоне действия скважины вертикального дренажа потребовало изучения и разработки дифференцированного режима орошения хлопчатника в зависимости от расстояния от скважины. В связи с этим нами в 1972—1974 гг. (совместно с А. Н. Кимом и Н. Ф. Беспало-

Таблица 61

Изменение содержания солей в слое почвы 0—100 см за осенне-зимний период по годам, %

Номер варианта	До промывки		После промывки		Осенью	
	Плотный остаток	Хлор-ион	Плотный остаток	Хлор-ион	Плотный остаток	Хлор-ион
			1974—1975 гг.			
1	0,342	0,016	0,210	0,009	0,336	0,013
2	0,335	0,018	0,342	0,016	0,427	0,024
			1975—1976 гг.			
1	0,346	0,017	0,242	0,011	0,268	0,016
2	0,384	0,020	0,343	0,017	0,422	0,021
			1976—1977 гг.			
1	0,325	0,016	0,218	0,008	0,257	0,014
2	0,396	0,019	0,373	0,018	0,446	0,023

вым) проведены специальные опыты в совхозе им. 30 лет Октября Кировского района Чимкентской области. Опыт 1 был заложен на расстоянии 50—150 м от скважины (в зоне эффективного ее влияния), а опыт 2 — на расстоянии 800—900 м (в зоне слабого действия). Предполивная влажность почвы поддерживалась в пределах 70—70—60% НВ. Поливная норма устанавливалась по фактическому дефициту влаги перед поливом в метровом слое почвы (вариант № 1). Поливная норма превышала дефицит влаги активного слоя почвы на 25% в варианте № 2, 50% — варианте № 3, 75% — варианте № 4 и 100% в варианте № 5. Грунтовые воды на участке 1 залегали на глубине 2,2—2,5 м в период посева хлопчатника, понижаясь к периоду уборки до 4 м и более, а в опыте 2 они находились на 0,7—0,9 м выше из-за слабого действия скважины. Степень минерализации грунтовых вод варьировала от 3,2 до 8,1 г/л по плотному остатку и от 0,29 до 0,81 г/л по хлору.

Хлопчатник (сорт Ташкент-1) возделывался на 4, 5 и 6-й годы после распашки люцерны. Погодные условия в период исследований соответствовали средним многолетним показателям. Опыты проводились на фоне ежегодной осенне-зимней промывки нормой 2,5—3 тыс. м³/га. Число поливов на опытных участках, имеющих различную степень дренированности, по одноименным вариантам было одинаковое (табл. 62). Отсутствие различия в числе поливов обусловлено специфическими особенностями сероземно-луговых почв старой зоны орошения, развитых на лессах и лессовидных суглинках, которые создают интенсивный подток влаги из грунтовых вод даже при их залегании на глубине 2,5—3,0 м.

Таблица 62

Режим орошения хлопчатника в зависимости от интенсивности дренирования по годам

Номер варианта	1972 г.			1973 г.			1974 г.		
	Схема полива	Оросительная норма, м³/га	Урожайность хлопка-сырца, т/га	Схема полива	Оросительная норма, м³/га	Урожайность хлопка-сырца, т/га	Схема полива	Оросительная норма, м³/га	Урожайность хлопка-сырца, т/га
				Опыт 1					
1	1—3—0	3226	3,52	1—3—0	3180	3,49	1—3—0	3255	3,52
2	1—2—0	3025	3,74	1—2—0	2947	3,58	1—2—0	3035	3,72
3	1—2—0	3514	4,01	1—2—0	3453	3,81	1—2—0	3640	4,03
4	1—1—0	2745	3,36	1—1—0	2680	3,21	1—1—0	2755	3,32
5	1—1—0	3140	3,06	1—1—0	3070	3,01	1—1—0	3157	3,13
				Опыт 2					
1	1—3—0	3142	3,34	1—3—0	3052	3,43	1—3—0	3158	3,29
2	1—2—0	2905	3,79	1—2—0	2850	3,64	1—2—0	2943	3,94
3	1—2—0	3472	3,60	1—2—0	3410	3,23	1—2—0	3518	3,73
4	1—1—0	2673	3,15	1—1—0	2626	3,04	1—1—0	2735	3,24
5	1—1—0	3025	2,97	1—1—0	2967	2,85	1—1—0	3075	3,07

Увеличение нормы полива на 25% против дефицита метрового слоя почвы способствовало сокращению числа поливов на один, на 10—15 дней раньше завершению поливов и снижению оросительной нормы на 201—237 м³/га. Повышение нормы полива на 50% против дефицита также сократило число поливов на один, при этом оросительная норма увеличилась на 270—400 м³/га. Полив хлопчатника нормами более 1220—1410 м³/га, превышающими фактический дефицит метрового слоя в 1,75—2 раза, сокращает общее число поливов до двух и оросительный период до 35—38 дней.

В условиях умеренной дренированности оросительная норма была меньше в среднем на 100 м³/га, и к поливам приступали на 5 дней позже, чем в зоне интенсивного действия дренажа. Это объясняется более близким залеганием грунтовых вод, а следовательно, и большим увлажнением корнеобитаемого слоя почвы. Результаты опытов показали, что в зоне наибольшего влияния вертикального дренажа оросительная норма должна быть увеличена на 20—23% по сравнению с наиболее удаленными от скважины участками.

На опытном участке 1, где грунтовые воды находились глубже по сравнению с участком 2, исходная влажность почвы верхнего метрового слоя была меньше, в среднем на 2,3% от массы. Характерным для опытных участков является достаточно высокая влажность почвы на период посева: в слое 0—50 см — 81—87% НВ и в слое 0—100 см — 91—97% НВ. После завершения

всех поливов грунтовые воды стали заметно понижаться и подпитывающее их влияние ослабевало, поэтому влажность почвы особенно в слоях 0—30 и 0—50 см к концу вегетации заметно понизилась. Наиболее благоприятное распределение влажности в период вегетации отмечалось в вариантах № 3 (опыт 1) и № 2 (опыт 2).

Разные поливные и оросительные нормы и уровень грунтовых вод на опытных участках сказались на солевом режиме почвы. Во все годы исследований почвы в период посева относились к незасоленным и большой разницы в содержании солей между опытными участками не наблюдалось. За вегетационный период произошло соленакопление в трехметровой толще почвогрунта, при этом наибольшему засолению подвергался верхний 0—50 см слой почвы.

При сравнении всех изучаемых вариантов опыта 1 содержание солей в конце вегетации увеличивалось в меньшей степени в варианте № 3 при проведении трех поливов оросительной нормой в среднем 3536 м³/га (с колебаниями от 3453 до 3640 м³/га). На опытном участке 2 при примерно одинаковом исходном содержании солей, как и в опыте 1, накопление их от посева к уборке увеличилось.

При сравнении опытных участков 1 и 2 можно отметить, что на опытном участке 2, где дренирующее влияние скважины было меньше, сезонное засоление заметно возросло. В целом на фоне ежегодных осенне-зимних промывных поливов наиболее эффективное рассоление почв в зоне наибольшего влияния скважины достигается при поливах по схеме 1—2—0 нормами, превышающими дефицит метрового слоя в 1,5 раза, а в зоне умеренного действия скважины — при поливах по схеме 1—2—0 нормами, превышающими дефицит влаги на 25%. Полученные результаты показывают, что в опыте 1 наиболее высокий урожай хлопка (3,95 т/га) в среднем за 3 года выращен в варианте № 3, а в опыте 2 — в варианте № 2 (3,79 т/га). Таким образом, для оптимизации водного и солевого режимов почвы в зоне действия вертикального дренажа необходимо применять дифференцированные поливные нормы при одинаковом числе поливов.

При сравнительно неглубоком залегании уровня грунтовых вод, а также на почвах с высокой водоподъемной способностью, когда иссушается только верхний слой (0—0,7 м), положительные результаты получены при поливе дождеванием (Беспалов, 1963; Саттаров, 1966; Кигай, 1970 и др.). Для уточнения режима орошения хлопчатника при дождевании машиной ДДА-100М в совхозе «Пахтаарал» (отвод 62) в 1969—1972 гг. были проведены специальные исследования. На опытном участке ежегодно в осенне-зимний период по зяби осуществлялась промывка почвы нормой 3000 м³/га. Грунтовые воды в период посева хлопчатника находились на глубине 1,7—2,2 м, постепенно снижаясь к уборке до 3,5—4 м. Минерализация грунтовых вод составляла 3,3—4,8 г/л.

Данные по режиму орошения хлопчатника (табл. 63) показывают, что оптимальные условия для формирования высокого урожая создавались при поддержании предполивной влажности на уровне 70—70% НВ, а в отдельные годы 70—75% НВ. Такая влажность поддерживалась в слое 0—50 см до цветения и 0—70 см — в фазу цветения — плодообразования. Для поддержания оптимального режима влажности почвы в сухие годы (1970—1971 гг.) потребовалось провести три полива по схеме 1—2—0 поливными нормами 480 м³/га в фазу массовой бутонизации и 660 м³/га — в фазу цветения—плодообразования с оросительной нормой 1640 м³/га.

Таблица 63

Режим орошения и урожайность хлопка-сырца при дождевании по годам

Номер варианта	Предполивная влажность, % НВ	Средняя норма полива, м³/га	Оросительная норма, м³/га	Межполивной интервал, сут	Оросительный период		Схема полива	Урожайность хлопка-сырца, т/га
					начало	конец		
1970 г.								
1	60—60	840	1680	24	20.VII	13.VIII	0—2—0	2,78
2	60—70	660	1980	19	2.VII	9.VIII	0—3—0	3,06
3	70—70	480—660	1740	18—22	24.VI	3.VIII	1—2—0	3,13
4	70—75	480—540	2100	17—20	24.VI	18.VIII	1—3—0	3,03
5	70—80	480—480	2160	16—19	24.VI	15.VIII	1—4—0	2,89
1971 г.								
1	60—60	840	840	—	22.VII	—	0—1—0	2,82
2	60—70	660	1320	23	9.VII	1.VIII	0—2—0	3,56
3	70—70	480—660	1740	22—24	26.VI	11.VIII	1—2—0	3,83
4	70—75	480—540	2100	19—17	26.VI	18.VIII	1—3—0	3,67
5	70—80	420—480	1740	19—15	26.VI	15.VIII	1—3—0	3,69
1972 г.								
1	60—60	840	840	—	25.VII	—	0—1—0	3,17
2	60—70	660	660	25	11.VII	5.VIII	0—2—0	3,71
3	70—70	480—660	1740	24—22	29.VI	14.VIII	1—2—0	3,94
4	70—75	480—540	1560	18—20	29.VI	6.VIII	1—2—0	4,09
5	70—80	420—480	1740	18—16	29.VI	19.VIII	1—3—0	3,63

В более влажные годы (1972 г.) эффективный режим предполивной влажности составлял 70—75% НВ. Снижение порога предполивной влажности до 60—70% НВ, как правило, сокращало количество поливов, причем они проводились только в период цветения — плодообразования по схеме 0—2—0 или 0—3—0. Однако урожайность хлопка-сырца по сравнению с оптимальным вариантом снижалась в среднем на 0,21 т/га. Как снижение режима влажности до 60—60%, так и повышение до 70—80%

НВ уменьшило урожайность хлопка-сырца в среднем на 0,76 и 0,28 т/га соответственно. Сезонное соленакопление в большей мере проявлялось при режиме влажности 60—60% НВ (табл. 64).

Таблица 64

Динамика сезонного засоления почв в зависимости от режима орошения хлопчатника дождеванием, % (среднее за 1969—1972 гг.)

Номер варианта	0—40 см		40—100 см		0—100 см		100—200 см	
	Весна	Осень	Весна	Осень	Весна	Осень	Весна	Осень
1	0,285 / 0,009	0,379 / 0,029	0,363 / 0,012	0,433 / 0,024	0,332 / 0,011	0,412 / 0,026	0,397 / 0,016	0,477 / 0,028
2	0,263 / 0,007	0,355 / 0,023	0,379 / 0,009	0,428 / 0,016	0,327 / 0,008	0,399 / 0,019	0,385 / 0,016	0,465 / 0,024
3	0,265 / 0,006	0,337 / 0,021	0,272 / 0,008	0,300 / 0,013	0,269 / 0,007	0,315 / 0,016	0,390 / 0,015	0,449 / 0,022
4	0,260 / 0,006	0,324 / 0,019	0,260 / 0,008	0,300 / 0,012	0,260 / 0,007	0,310 / 0,015	0,369 / 0,014	0,427 / 0,020
5	0,258 / 0,006	0,330 / 0,019	0,248 / 0,006	0,268 / 0,011	0,252 / 0,006	0,293 / 0,014	0,375 / 0,014	0,423 / 0,020

Примечание. Числитель — плотный остаток, знаменатель — хлор-ион.

Высокий эффект от поливов достигается при научно обоснованном внесении удобрений. Для выявления совместного действия орошения и удобрений в староорошаемой зоне Голодной степи (совхоз «Пахтаарал») был заложен полевой опыт. Полив хлопчатника сорта Ташкент-1 проводили по бороздам с шириной междурядий 90 см. Грунтовые воды находились на глубине 1,8—3,5 м, зеркало которых постепенно понижалось от посева к уборке. Минерализация грунтовых вод варьировала от 3,0 до 4,2 г/л по плотному остатку и от 0,2 до 0,3 г/л по хлору.

Режим орошения изучался при предполивной влажности 70—80% НВ в варианте № 1, 70—70% НВ — варианте № 2 и 60—60% НВ — в варианте № 3. Поливные нормы устанавливались по дефициту влаги в метровом слое почвы. Норма внесения удобрений при каждом режиме влажности почвы составляла: N — 150, P — 100 и N — 250, P — 175 кг/га действующего вещества. 70% годовой нормы фосфора вносилось перед зяблевой вспашкой, 30% — в начале цветения, азотные удобрения — перед посевом (25%), в фазу 3—4 настоящих листочков (25%) и в две подкормки.

Оптимальные условия для получения высоких урожаев были созданы при режиме предполивной влажности на уровне 70—70% от НВ при обеих дозах внесения минеральных удобрений. Повышение доз удобрений дало прибавку урожая в количестве 0,20—0,31 т/га (табл. 65).

Таблица 65

Влияние режимов орошения и удобрений на урожайность хлопчатника по годам

Номер варианта	Предполивная влажность почвы, % НВ	Поливная норма, м³/га	Оросительная норма, м³/га	Оросительный период	Схема полива	Урожайность (т/га) при дозе удобрений, кг/га	
						N — 150, P — 100	N — 250, P — 175
				1970 г.			
1	70—80	750—900	3150	25.VI—20.VIII	1—3—0	3,92	4,18
2	70—70	900—1000	2900	30.VI—15.VIII	1—2—0	3,97	4,30
3	60—60	1350	1350	25.VII	0—1—0	3,36	3,43
				1971 г.			
1	70—80	750—900	3150	21.VI—18.VIII	1—3—0	3,87	4,06
2	70—70	900—1000	2900	22.VI—12.VIII	1—2—0	3,94	4,25
3	60—60	1346	1346	23.VII	0—1—0	3,06	3,11
				1972 г.			
1	70—80	760—900	3160	25.VI—15.VIII	1—3—0	4,21	4,29
2	70—70	900—1000	2900	3.VII—12.VIII	1—2—0	4,25	4,45
3	60—60	1350	1350	20.VII	0—1—0	3,58	3,69

Накопление воздушно-сухой массы растений увеличивалось по мере повышения термических ресурсов, особенно интенсивный рост надземной массы отмечался в период цветения — плодообразования. После этого наблюдался спад интенсивности прироста надземной массы растений. Здесь также отмечалось самое большое ее накопление в вариантах с повышенными нормами удобрений (рис. 26).

Корневая система растений до фазы бутонизации была сосредоточена в слое 0—30 см, причем наиболее развитая часть корней находилась в слое 0—10 см. В фазу цветения (I. VIII) сухая масса корней в слое 0—50 см в вариантах с повышенными дозами удобрений достигала 30—35 г на одно растение. Снижение нормы удобрений в аналогичных режимах орошения уменьшало массу корней на 4—6 г на одно растение (см. рис. 26). При пониженной предполивной влажности сухая масса корней в этот период была наименьшей и различия по фонам удобрений более существенные (24—27 г). Накопление надземной массы шло в 2 ра-

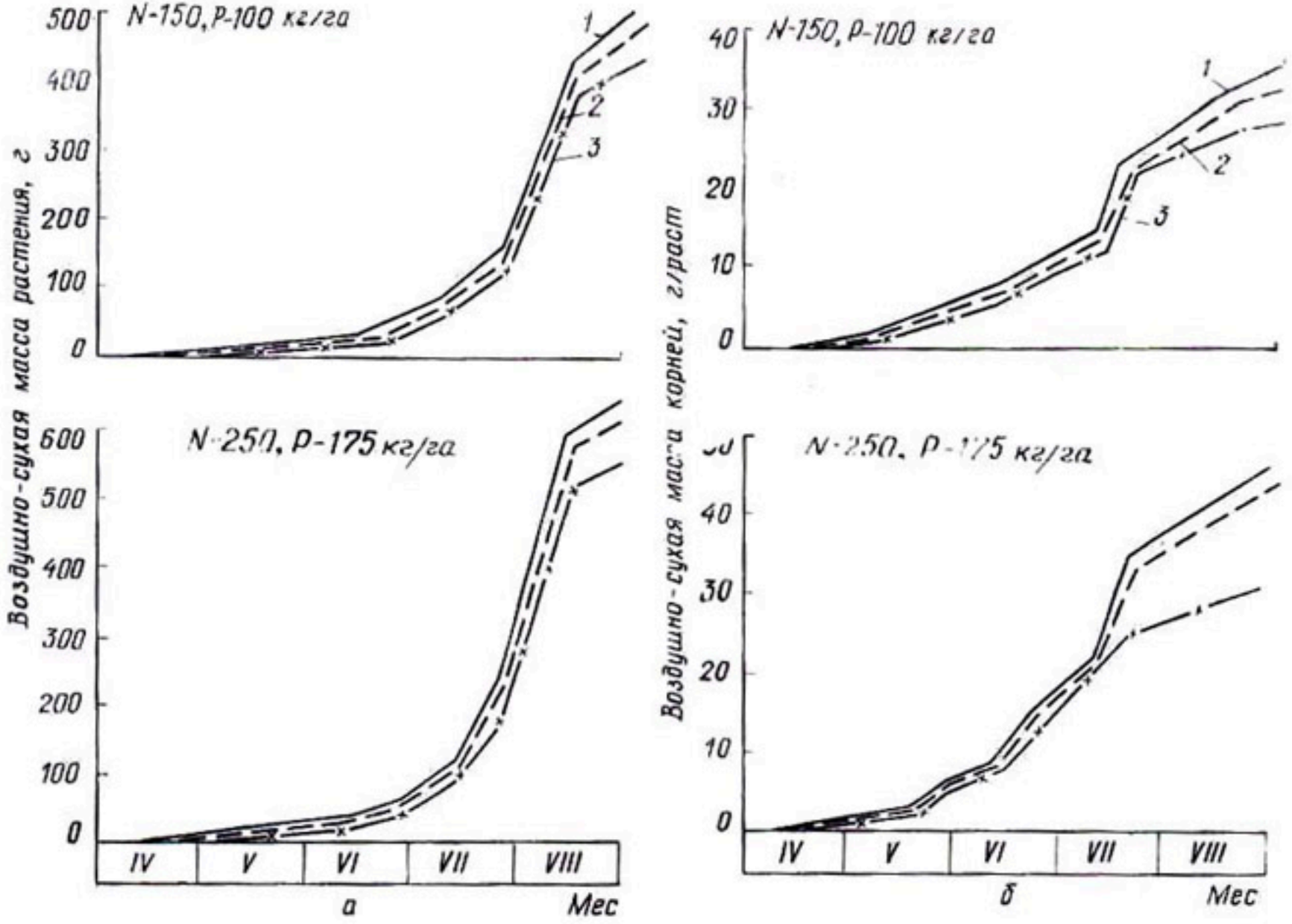


Рис. 26. Накопление воздушно-сухой массы растения (*а*) и корней хлопчатника (*б*) в среднем за 1970 — 1972 гг.: *1* — режим влажности 70—80% НВ; *2* — 70—70% НВ; *3* — 60—60% НВ

за интенсивнее, чем основной массы корней. Рост и развитие растений протекали наиболее интенсивно также при внесении повышенных доз минеральных удобрений при режимах влажности 70—70 и 70—80% НВ. Высота растений была выше на 8—12%, число симподиев — на 18—22% и коробочек — на 15—24% по сравнению с обычным фоном удобрений. Все это в конечном итоге сказалось на более высокой урожайности хлопчатника.

Следовательно, благоприятные условия для получения высокого урожая хлопка-сырца обеспечивались при влажности почвы 70—70% НВ и нормах удобрений N — 250 и P — 175 кг/га. При оптимальных режимах орошения и нормах удобрений затраты поливной воды были невысокие (650—740 м³/т). На фоне ежегодных эксплуатационных промывок ухудшения солевого режима почв в оптимальных вариантах не происходило. Наиболее высокая окупаемость поливной воды отмечалась при поливах по влажности почвы 70—70% НВ. При этом на фоне повышенных доз удобрений на 1 кг хлопка расходовалось 0,67 м³ поливной воды и 0,10 кг минеральных удобрений, а при средней норме удобрений — 0,72 м³ и 0,06 кг соответственно. Следовательно, при оптимальном режиме предполивной влажности почвы. (70—70% НВ) на повышенном фоне удобрений расход оросительной воды уменьшался, а урожай хлопка-сырца повышался на 0,25 т/га по сравнению со средним фоном минеральных удобрений.

В настоящее время большое внимание уделяется выявлению связей урожайности хлопчатника с режимом орошения, удобрениями и глубиной основной обработки почвы. Для этих целей были использованы данные трехфакторного опыта. Поливы проводились при влажности почвы 60—60, 60—70 и 70—70% НВ. Фон удобрения пониженный (N — 100, P — 70), средний (N — 200, P — 140), повышенный (N — 300, P — 210), глубина основной обработки почвы: вспашка на 30 см, плантажная вспашка на 45 см и вспашка в сочетании с рыхлением на глубину 60 см. Исследования были проведены в 1977—1979 гг. в совхозе «Пахтаарал».

Для поддержания влажности почвы на уровне 60—60% НВ был проведен один полив по схеме 0—1—0 оросительной нормой 1300 м³/га. Для обеспечения порога предполивной влажности 60—70% НВ потребовалось два вегетационных полива по схеме 0—2—0 оросительной нормой 2100—2300 м³/га, для предполивной влажности почвы 70—70% НВ — три вегетационных полива по схеме 1—2—0 оросительной нормой 2950—3050 м³/га. Полученные данные показали, что орошение, минеральные удобрения и глубина основной обработки почвы оказывали большое влияние на продуктивность хлопчатника (табл. 66).

Урожайность хлопка-сырца в варианте с жестким режимом предполивной влажности (60—60% НВ) при пониженном фоне удобрений и обычной вспашке (на 30 см) колебалась в пределах 2,65—2,82 т/га (в среднем 2,71 т/га). При этом же водном режиме, но при повышенных дозах удобрений урожайность повыси-

Таблица 66

Влияние орошения, удобрений и глубины основной обработки почвы на урожайность хлопчатника, т/га

Влажность почвы перед поливом, % НВ	Глубина основной обработки почвы, см	Урожайность по фону удобрений		
		пониженный	средний	повышенный
60—60	30	2.71±0,08	2,97±0,10	3,03±0,09
	45	2.78±0,09	3,09±0,11	3,11±0,10
	60	2,89±0,07	3,16±0,12	3,25±0,09
60—70	30	3,07±0,08	3,38±0,13	3,56±0,11
	45	3,13±0,11	3,42±0,12	3,66±0,11
	60	3,28±0,12	3,61±0,11	3,82±0,11
70—70	30	3,25±0,10	3,65±0,12	3,84±0,12
	45	3,43±0,11	3,73±0,12	4,05±0,12
	60	3,52±0,12	3,93±0,12	4,17±0,11

лась на 0,32 т/га (в среднем 3,03 т/га), а рыхление почвы на глубину 60 см и при такой же исходной влажности повысило урожайность в среднем до 3,25 т/га.

При водном режиме почвы, поддерживаемом на уровне 60—70% НВ, прибавка от удобрений составила 0,49—0,54 т/га от рыхления — 0,21—0,26 т/га и от увеличения предполивной влажности почвы — 0,37—0,55 т/га. Наиболее ощутимая прибавка урожая была получена от совокупного действия упомянутых факторов. При оптимальном режиме орошения, обеспечиваемого схемой полива 1—2—0 на фоне повышенных доз удобрений и глубокого рыхления, урожайность хлопка-сырца в среднем за 3 года составила 4,17 т/га, что на 0,52 т/га выше, чем на фоне обычной обработки и средних доз вносимых удобрений. Трехлетние опытные данные по урожаю хлопка-сырца были подвергнуты корреляционному и регрессионному анализу (табл. 67). Данные показывают на наличие прямолинейной зависимости урожая хлопчатника от режима орошения, доз вносимых удобрений и обработки почвы. Результаты корреляционного и регрессионного анализа указывают на слабую положительную связь урожая с глубиной основной обработки и значительную — с удобрениями и режимом предполивной влажности почвы.

Парциальные коэффициенты для урожая и глубины обработки почвы оказались средними, а зависимости урожая от удобрений и урожая от режима орошения высокими. Коэффициент множественной корреляции, показывающий зависимость урожая от изучаемых факторов, достаточно высокий (0,916—0,933), так же как и общий коэффициент детерминации (0,839—0,870). Последний показывает, что 83,9—87% от всего количества получаемого урожая приходится на совместное действие орошения, удобрений и глубины обработки почвы. При этом 39,6—48,3% падает на долю орошения, 36,4—38,8% — удобрений и 4,1% — на глубину обработки.

Таблица 67

Результаты корреляционного и регрессионного анализов связи урожайности хлопчатника с комплексом факторов

Независимая переменная	Парный (простой) коэффициент корреляции	Множественный и парциальные коэффициенты корреляции	Общий и частные коэффициенты детерминации	Коэффициенты регрессии
По режиму предполивной влажности				
X_1, X_2, X_3	—	0,916	0,839	—8,51
X_1	0,202	0,428	0,041	0,080
X_2	0,623	0,856	0,388	0,015
X_3	0,629	0,877	0,396	1,09
По оросительной норме				
X_1, X_2, X_3	—	0,933	0,870	20,73
X_1	0,202	0,436	0,041	0,080
X_2	0,602	0,872	0,364	0,015
X_3	0,695	0,889	0,483	0,003

Из полученных данных следует, что на каждый сантиметр увеличения глубины обработки урожай хлопчатника возрастал в среднем на 0,08 ц/га, на 1 кг удобрений — 0,015 ц/га, на 1 м³ поданной воды — на 0,003 ц/га, и повышение предполивной влажности на 1 % НВ — на 1,09 ц/га.

С учетом вычисленных коэффициентов составлено уравнение множественной регрессии

$$У = -8{,}51 + 0{,}08\,X_1 + 0{,}015\,X_2 + 1{,}09\,X_3 \qquad (11)$$

$$У = 20{,}73 + 0{,}08\,X_1 + 0{,}015\,X_2 + 0{,}003\,X_3, \qquad (12)$$

где $У$ — урожайность хлопка-сырца, ц/га; X_1 — глубина обработки почвы, см; X_2 — норма вносимых удобрений, кг/га; X_3 — особенности режима орошения: в первом уравнении влажность почвы (% НВ) в диапазоне выше влажности завядания, во втором уравнении — оросительная норма (м³/га).

В уравнении (11) свободный член имеет отрицательное значение. Это означает, что для получения минимального урожая необходима влажность, превышающая влажность завядания. Этот минимум равен 8,51 : 1,09 = 7,8% продуктивной влаги, % НВ, т. е. влажность должна быть не ниже 41,6% НВ.

Вероятностный рост урожайности хлопчатника по мере повышения порога предполивной влажности намного больше, чем при увеличении доз удобрений и глубины обработки почвы (рис. 27). Так, при увеличении дозы удобрений от 170 до 510 кг/га вероятная прибавка урожая составит всего лишь 0,52 ц/га и от повышения глубины обработки (с 30 до 60 см) — 2,4 ц/га.

Данные урожайности, вычисленные по формулам (11) и (12), как это видно из рис. 28, имеют высокую степень совпадения с фактическими данными опыта. Причем по мере повышения водообеспеченности, глубины обработки и доз вносимых удобрений урожайность заметно возрастает. Установленную зависимость

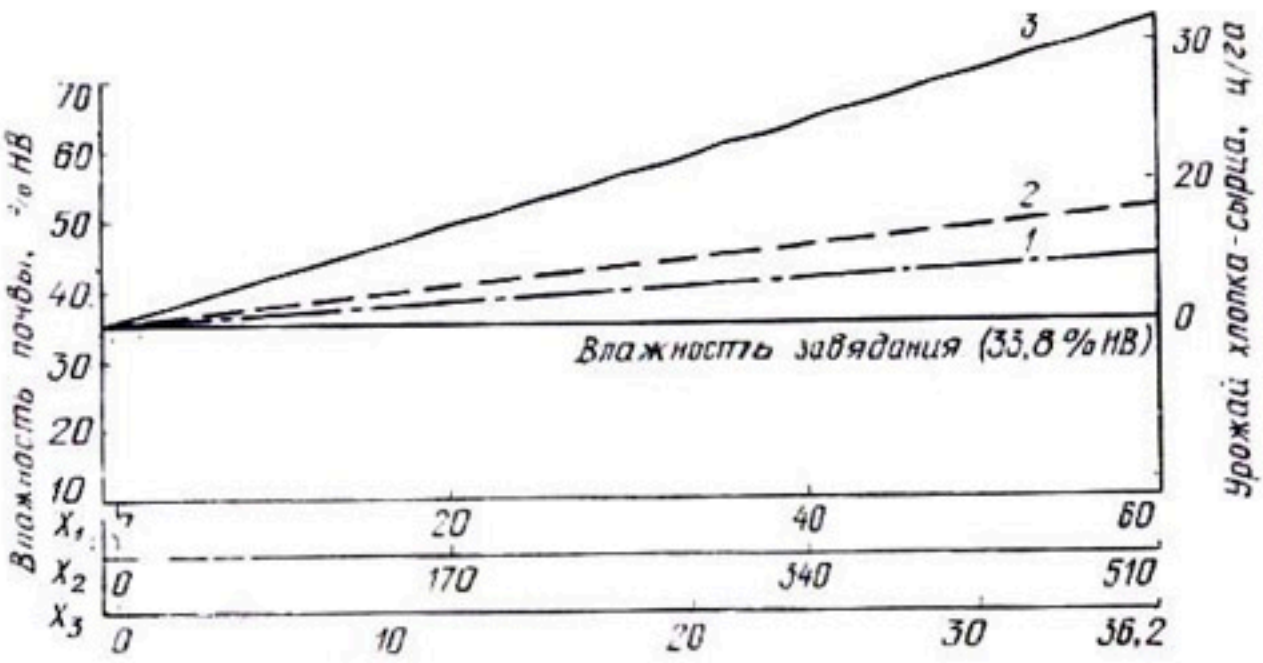


Рис. 27. Влияние отдельных факторов на урожайность хлопчатника: X_1 — глубина обработки почв, см; X_2 — доза вносимых удобрений, кг/га; X_3 — продуктивная влага, % НВ

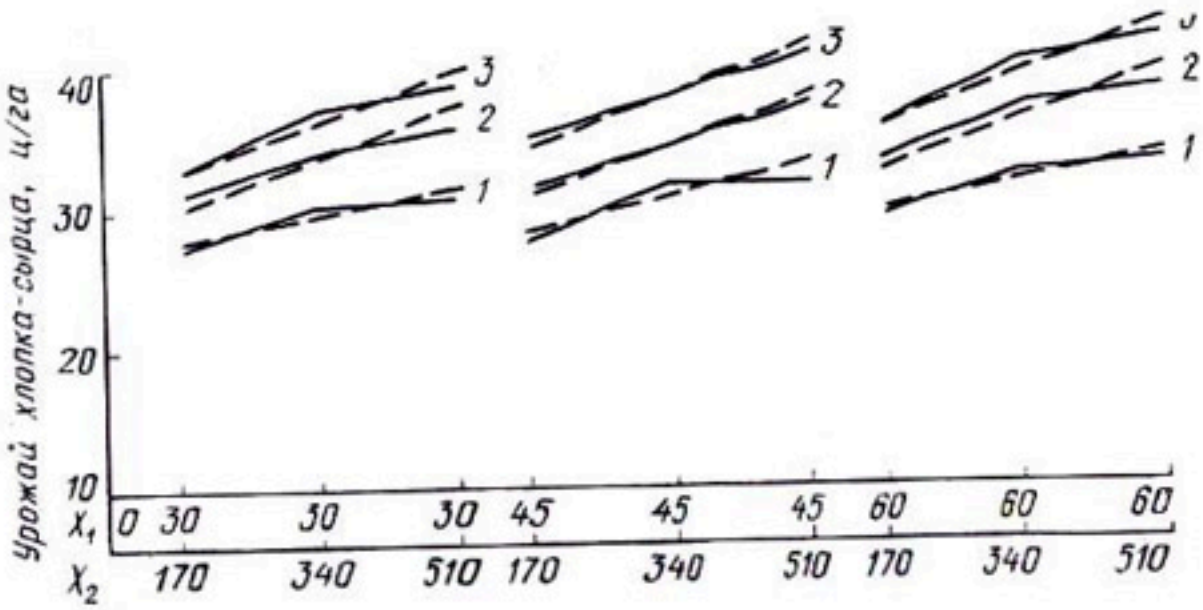


Рис. 28. Урожайность хлопчатника при различных нормах орошения:

1 — 1300 м³/га; *2* — 2200 м³/га; *3* — 3000 м³/га; — фактический урожай; — — — расчетный

урожая от орошения, глубины обработки и доз вносимых удобрений можно использовать для прогнозирования урожая хлопка-сырца в конкретных природно-климатических условиях.

При проектировании режима орошения в Средней Азии в настоящее время применяется формула института Средазгипроводхлопка

$$M = 10 \cdot (E - O) \cdot K_1 \cdot K_2, \qquad (13)$$

где M — оросительная норма, м³/га; E — испаряемость по Н. Н. Иванову с поправкой Л. А. Молчанова за апрель—сентябрь, мм; O — сумма осадков за период вегетации, мм; K_1 — коэффициент, зависящий от вида возделываемой культуры (для хлопчатника $K_1 = 0.65$); K_2 — коэффициент, применяемый для дифференциации оросительной нормы по гидромодульным районам.

По данным опытных материалов, оросительные нормы для районов Голодной степи, особенно староорошаемой зоны, завышены (Спицын, Шуравилин, 1977). Обобщение результатов собственных исследований, а также опубликованных данных показало, что режим орошения хлопчатника существенно изменяется в зависимости от климатических, гидрогеологических, почвенно-мелиоративных условий, способов и техники полива и биологических особенностей возделываемого сорта хлопчатника. Дифференциация поливного режима проводится на основе гидромодульного районирования орошаемой территории (Легостаев, Коньков, 1950; Еременко, 1957; Беспалов, 1970; Легостаев, 1982).

В настоящее время орошаемые земли в целях дифференциации режимов орошения группируются в девять гидромодульных районов с учетом уровня грунтовых вод, механического состава и строения почвогрунта в слое аэрации (однородное или слоистое) (Шредер и др., 1970; Рыжов, Беспалов, 1980). В пределах Голодной степи в каждой зоне орошения выделено пять гидромодульных районов, для которых рекомендуется следующий режим орошения хлопчатника (табл. 68).

ЭЛЕМЕНТЫ ТЕХНИКИ БОРОЗДКОВОГО ПОЛИВА

Одним из важных факторов, определяющих водно-солевой режим орошаемых почв, является техника полива, которая должна обеспечить равномерное увлажнение почвы на поливном участке, повышение производительности труда и эффективное использование водных и земельных ресурсов. На основании проведенных исследований в ряде районов Средней Азии А. Н. Костяков (1939) обосновал понятие о составных элементах режима орошения и создал теорию расчета бороздкового полива, увязав ее с водопроницаемостью почвы и уклоном поверхности. Дальнейшее развитие теория бороздкового полива получила в работах многих исследователей (Ляпин, 1953, 1975; Еременко, 1960; Кривовяз, 1961, 1966; Лактаев, 1972, 1978).

Таблица 68

Рекомендуемый режим орошения хлопчатника по гидромодульным районам

Гидромодульный район	Механический состав и строение почвогрунта в слое аэрации	Уровень грунтовых вод, м	Полив по бороздам				Полив дождеванием			
			Схема полива	Поливная норма, м³/га	Начало и конец оросительного периода	Оросительная норма, м³/га	Схема полива	Поливная норма, м³/га	Начало и конец оросительного периода	Оросительная норма, м³/га
III	Мощные суглинистые и глинистые	3—4	1—3—0	1000—1200	I.VI—20..VIII	4600	1—4—0	700—800	I.VI—20.VIII	3900
		3—4 и более	2—4—0	1000—1200	21.V—31.VIII	6400	2—5—0	700—800	I.VI—25.VIII	4700
V	Средне- и легкосуглинистые, однородные или тяжелосуглинистые, облегчающиеся книзу	2—3	1—2—0	1000—1100	11.VI—15.VIII	3200	1—3—0	600—700	11.VI—15.VIII	2700
		2—3	1—3—0	1000—1100	I.VI—20.VIII	4300	1—4—0	600—700	6.VI—15.VIII	3400
VI	Тяжелосуглинистые и глинистые, однородные, плотные по сложению или разные по механическому со-	2—3	1—3—0	1000—1100	I.VI—20.VIII	4300	не рекомендуется			
		2—3	1—4—0	1000—1100	26.V—25.VIII	5400				

	ставу, слоистые по строению										
VIII	Средне- и легкосуглинистые, однородные или тяжелосуглинистые, облегчающиеся книзу	1—2 1—2	0—2—0 1—2—0	900—1000 900—1000	21.VI—10.VIII 11.VI—15.VIII	1900 2900	1—2—0 1—3—0	500—600 500—600	16.VI—15.VIII 11.VI—15.VIII	1700 2300
IX	Тяжелосуглинистые и глинистые, однородные, плотные по сложению или разные по механическому составу, слоистые по строению	1—2 1—2	1—2—0 1—3—0	1000—1100 1000—1100	11.VI—15.VIII 6.VI—20.VIII	3200 4300		не рекомендуется		

Примечание. Числитель — староорошаемая зона, знаменатель — новоорошаемая.

В целях повышения производительности труда и сокращения времени добегания при поливах хлопчатника стали применять большие поливные струи и длинные борозды (Челюканов, 1962; Кривовяз, 1963; Павлов, 1970). В последнее время все чаще используется полив переменной струей, обеспечивающий равномерное увлажнение почв по длине борозд (Челюканов, 1962; Осадчи, 1972). Поливную струю в борозду рекомендуется подавать соответственно уклону местности с учетом длины борозды и водопроницаемости, чтобы не допустить эрозию почвы. Равномерность увлажнения по длине борозды, как установлено С. М. Кривовязом (1966), достигается при больших значениях отношения времени добегания к доувлажнению, но не более 2.7—3,0.

Разнообразие природно-климатических условий требует дифференцированного подхода при выборе элементов техники полива применительно к конкретным орошаемым массивам. В производстве без тщательной планировки еще передко применяют полив по длинным бороздам, при котором происходят большие потери воды и усиливается неравномерность увлажнения почвы. Все это потребовало проведения исследований по совершенствованию элементов техники бороздкового полива применительно к условиям орошаемых земель Голодной степи.

При поливе по бороздам процесс поступления воды в почву протекает гравитационным и капиллярным путями. Это в основном и определяет качественные показатели полива: равномерность распределения влаги в почве и коэффициент полезного использования воды. В зависимости от водно-физических свойств почвы, уклона местности, а также схемы посева устанавливаются элементы техники полива по бороздам.

Из водно-физических свойств почв важным фактором, определяющим различие элементов техники полива, является водопроницаемость. Скорость впитывания по А. Н. Костякову выражается формулой

$$K = K_1/t^{\alpha}, \qquad (14)$$

где K — скорость впитывания в конце любого времени t; K_1 — скорость впитывания в конце первого часа, см/ч; α — параметр, характеризующий изменение скорости впитывания во времени.

Многообразие и изменчивость условий, влияющих на процесс впитывания, требует экспериментального определения параметров K_1 и α. Результаты определений впитывания воды в почву были сгруппированы в зависимости от почвогрунта и зоны освоения. Полученные данные показывают, что скорость впитывания в конце первого часа была выше в новоорошаемой зоне по сравнению со староорошаемой (табл. 69). Наименьшим впитыванием отличались гипсоносные почвы.

Скорость впитывания от первого к последующему поливу снижалась на 5—10%, а к последнему — на 25%. Это объясняется постепенным уплотнением почвы при поливах. Результаты исследований по элементам техники бороздкового полива при средней

Таблица 69

Параметры впитывания в зависимости от механического состава почв

Механический состав почвы	Староорошаемая зона		Новоорошаемая зона		Новоорошаемая зона с гипсоносными почвами	
	K_1	α	K_1	α	K_1	α
Легкосуглинистый	3,4	0,39	3.9	0,41	3,2	0,53
Среднесуглинистый	2.8	0,47	3.1	0,54	2.9	0,64
Тяжелосуглинистый	2.0	0,53	2.4	0,62	2,1	0,69

Таблица 70

Урожайность хлопчатника в зависимости от элементов техники полива

Длина борозды, м	Расход поливной струи, л/с	Время добегания, мин	Продолжительность полива, мин	Норма добегания, м³/га	Фактическая поливная норма, м³/га	Коэффициент равномерности увлажнения ($K_р$)	Урожайность хлопка-сырца, т/га
	0,5	129	360	430	1092	0,77	4.21
100	0,75/0.38	98	378	490	1145	0,78	4,26
	0,75	105	240	525	953	0,75	3.93
	0,5	207	540	460	1073	0,74	4,17
150	0,75/0,38	152	562	507	1114	0,76	4,21
	0,75	163	360	543	1026	0,70	4,05
	0,85	191	424	541	930	0,71	4,07
200	0,85/0,42	180	673	510	1065	0,74	4,18
	1,0	152	360	507	935	0,62	3.83
	1,0/0,5	156	564	520	1087	0,78	4,27
	0,85	202	529	458	960	0,67	3,96
250	0,85/0,42	215	852	487	1090	0,69	4,02
	1,0	164	450	437	955	0,60	3,77
	1,0/0,5	171	729	456	1090	0,70	4,06

норме 1200 м³/га за 1970—1976 гг. в совхозе «Пахтаарал» приведены в табл. 70.

На слабоуклонных землях (i=0.0004—0.001) наиболее благоприятные условия для равномерности увлажнения создаются при поливах с переменной струей при изученных длинах борозд (100—250 м). При небольшой их длине высокая равномерность увлажнения получена и при поливе постоянной струей небольшим расходом (0,5 л/с). Продолжительность полива составляет 6 ч.

При длине борозды 150 м поливная струя в период добегания составляла 0,75, а в доувлажнение — 0,38 л/с. В этом варианте получена наибольшая равномерность увлажнения ($К_р$=0,76).

Продолжительность полива при поливных бороздах длиной 200 м поливной струей 1,0/0,5 л/с составляет 9,5 ч и коэффициент равномерности распределения воды достигает максимальной величины — 0,78. Увеличение длины борозды до 250 м при расходах воды 0,85—1,0 л/с приводит к снижению коэффициента равномерности и урожая хлопка-сырца. Наиболее высокая равномерность увлажнения была получена и в этом случае при поливе переменным расходом 1,0/0,5 л/с. Таким образом, в условиях староорошаемой зоны при широких междурядьях длина борозды не должна превышать 200 м при постоянной поливной струе 0,8—0,9 л/с и переменной — 1,0/0,5 л/с. В соответствии с указанными условиями полива и отсутствием сброса (или при минимальном сбросе) в конце борозды происходит достаточно равномерное и быстрое увлажнение почвы на необходимую глубину по всей длине борозды. При каждом последующем поливе вследствие уменьшения водопроницаемости почвы увеличивается скорость и сокращается время прохождения воды до конца борозды, поэтому размер поливной струи должен уменьшаться на 10%. При незначительных уклонах орошаемой территории во избежание затопления борозды слой воды в ней не должен быть более одной трети глубины.

Большие возможности совершенствования существующей техники полива по бороздам имеются в новоорошаемой зоне, где сооружены современные оросительные системы. Применительно к различным почвенно-рельефным условиям данной зоны оптимальные параметры элементов техники бороздкового полива хлопчатника должны быть дифференцированы. Наши исследования по разработке научно обоснованных параметров были проведены в 1973—1979 гг. на слабо- и средневодопроницаемых почвах с различными уклонами поверхности (совхозы «Ташкент», «Советская Россия» и им. Г. К. Жукова). В опытах изучались различные длины поливных борозд и размеры поливных струй. Грунтовые воды залегали на глубине от 2,5 до 4,5 м, минерализация их составляла 5—15 г/л по плотному остатку. Испытывались поливные струи размером от 2,0 до 0,5 л/с. Время добегания было невелико, и доувлажнение борозд происходило при одновременном глубинном и частично поверхностном сбросе.

При поливе по бороздам происходило постепенное впитывание воды при ее движении, и поливной расход замедленно убывал от головы к хвосту борозды (рис. 29). Наблюдения показали (табл. 71, рис. 30), что время добегания постепенно уменьшается с увеличением размера поливной струи и возрастает с увеличением длины борозды. Так, в опыте 1 при средней поливной струе 0,92 л/с время добегания составило 142 мин при длине борозды 200 м, а при длине 300 м — больше в 2,1 раза. В опыте 3 при уве-

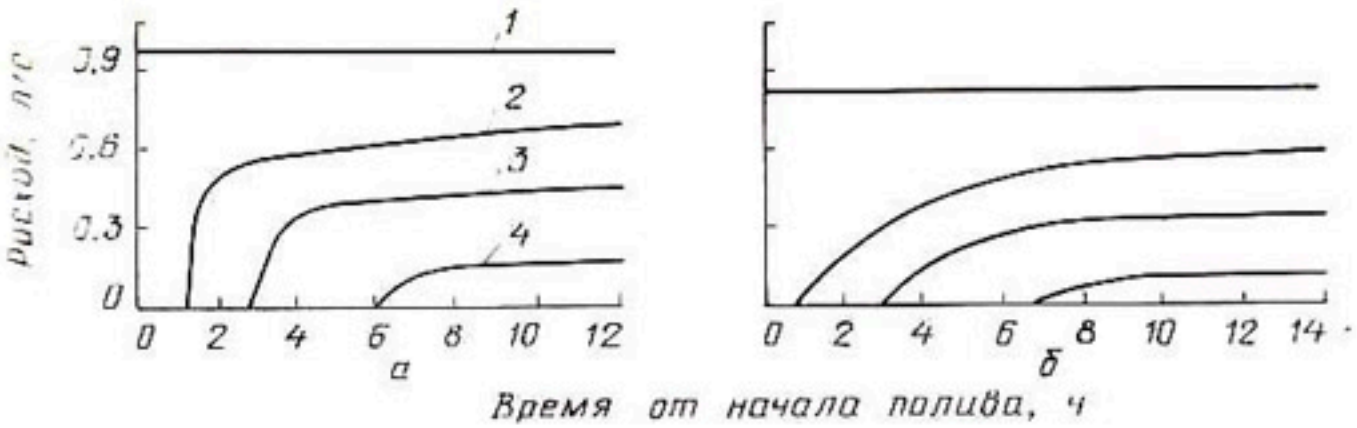


Рис. 29. Изменение расхода воды при разном расстоянии от начала борозды и постоянном расходе в ее голове:

а — первый полив, *б* — третий полив; *1* — расход воды в голове борозды, *2* — 100 м от начала борозды, *3* — 200 м, *4* — 300 м

Таблица 71

Изменение продолжительности полива в зависимости от длины борозды и поливной струи

Номер варианта	Длина борозды, м	Поливная струя, л/с		Время добегания струи, мин	Норма добегания, м³/га	Норма доувлажнения, м³/га	Время доувлажнения, мин	Продолжительность полива, мин
		для первых двух поливов	для последующих поливов					
Опыт 1 (водопроницаемость слабая, очень малые уклоны)								
1	200	1,0/0,5	0,85/0,42	142	435	765	499	641
2	200	0,76	0,64	175	408	792	339	514
3	300	1,25/0,62	1,06/0,53	276	705	495	328	604
4	300	1,0	0,85	302	617	583	285	587
5	400	1,5/0,75	1,28/0,64	376	871	329	282	658
6	400	1,1	0,94	427	726	474	279	706
Опыт 2 (водопроницаемость слабая, малые уклоны)								
1	250	1,0/0,5	0,85/0,42	176	432	768	626	802
2	250	0,76	0,64	206	385	815	437	643
3	300	1,1/0,55	0,94/0,47	310	703	497	439	749
4	300	0,84	0,71	322	558	642	370	692
5	350	1,25/0,62	1,06/0,53	340	745	455	412	752
6	350	0,95	0,81	391	655	545	325	716
Опыт 3 (водопроницаемость средняя, малые уклоны)								
1	150	0,8/0,4	0,68/0,34	124	408	792	482	606
2	150	0,6	0,51	140	348	852	342	482
3	200	0,9/0,45	0,76/0,38	163	451	749	548	711
4	200	0,68	0,58	222	466	734	350	572
5	250	1,1/0,55	0,94/0,47	173	471	729	536	709
6	250	0,82	0,70	227	460	740	365	592

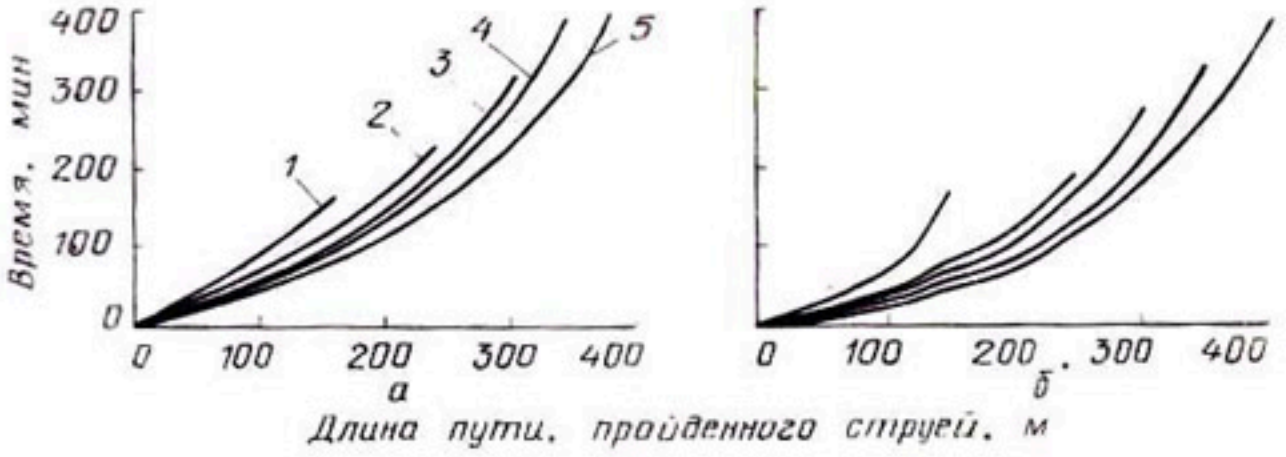


Рис. 30. Зависимость длины пути, пройденного струями разной величины по дну борозды, от времени:

а — первый полив: *1* — 0,64 л/с, *2* — 0,75 л/с, *3* — 1,0 л/с, *4* — 1,25 л/с, *5* — 1,5 л/с; *б* — третий полив: *1* — 0,51 л/с, *2* — 0,64 л/с, *3* — 0,85 л/с, *4* — 1,06 л/с, *5* — 1,28 л/с

личении длины борозды от 150 до 250 м и поливах примерно одной и той же поливной струей (0.8—0,82 л/с) норма добегания возросла в 1,8 раза. В пределах одного уклона зафиксировано изменение скорости движения воды при различных величинах поливных струй. Причем в последующие поливы происходит заметное уплотнение почв и уменьшение скорости впитывания. Это вызывает увеличение скорости движения воды по сухой борозде и сокращение времени добегания струи. Так, в опыте 1 средняя скорость движения воды в борозде длиной 300 м при струе 0,92 л/с составила 1 м/мин, а при струе 1.15 л/с — 1,09 м/мин. Уменьшение длины борозды до 200 м при средней струе 0,92 вызывало увеличение скорости движения до 1.4 м/мин. Наибольшие скорости продвижения воды отмечены в начале борозды. Так, при длине борозды 350 м и струе 1,5 л/с в среднем скорость движения составляла 1 м/мин, а на 50-метровом отрезке она была 2,2 м/мин. при поливной струе 0,75 л/с соответственно 0,8 и 1,3 м/мин.

Наблюдения за измерением поперечного сечения поливных борозд показали, что независимо от величины подаваемой струи (до 1,6 л/с) степень размыва при малых и очень малых уклонах незначительная. На уклонах до 0,003 при величине струи до 1,6 л/с не было зафиксировано ни одного случая критической скорости размыва, вызывающего ирригационную эрозию. Полученные материалы показали, что для исследуемых почв максимально допустимый расход воды в борозду в период добегания составляет 1,5 л/с, при котором не происходит изменения профиля борозды, а скорость движения воды не превышает 5 см/с. При больших величинах струй (2—2,5 л/с) наблюдался размыв дна борозд, особенно в голове, и уполаживание сечения борозд. При этом скорость движения воды возрастала до 6—8 см/с и более. Следовательно, в данных условиях критической является скорость не более 5 см/с.

Количество впитавшейся воды по длине борозды за время добегания до ее конца зависело от времени добегания, поливной

струи и длины борозды (см. табл. 71, рис. 31). По мере увеличения размера поливной струи возрастала норма добегания. При поливе по длинным бороздам (300—400 м) норма добегания была в 1,5—2 раза меньше, чем по коротким (150 м). За период добегания было вылито 32—40% от поливной заданной нормы

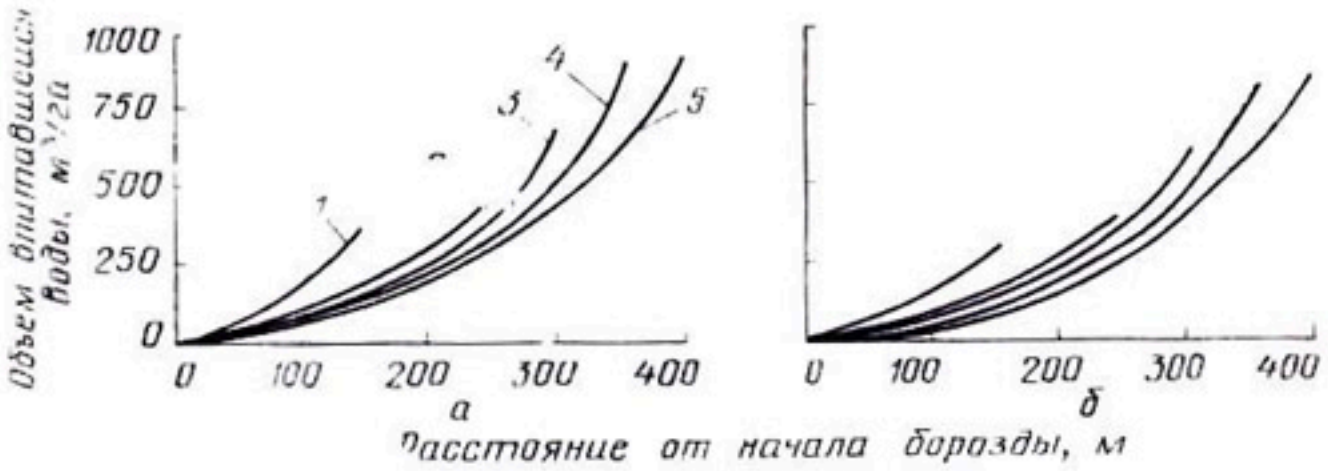


Рис. 31. Количество впитавшейся воды по длине борозды за время добегания до ее конца. Обозначения см. на рис. 30

при длине борозды 150—250 м, 40—55% — при 250—300 м и 58% — при 350—400 м. При этом поливные струи в среднем находились в пределах 0,6—1,4 л/с. После добегания в процессе полива происходило постепенное выравнивание увлажнения по длине борозды (рис. 32). Использование малого расхода воды в этот

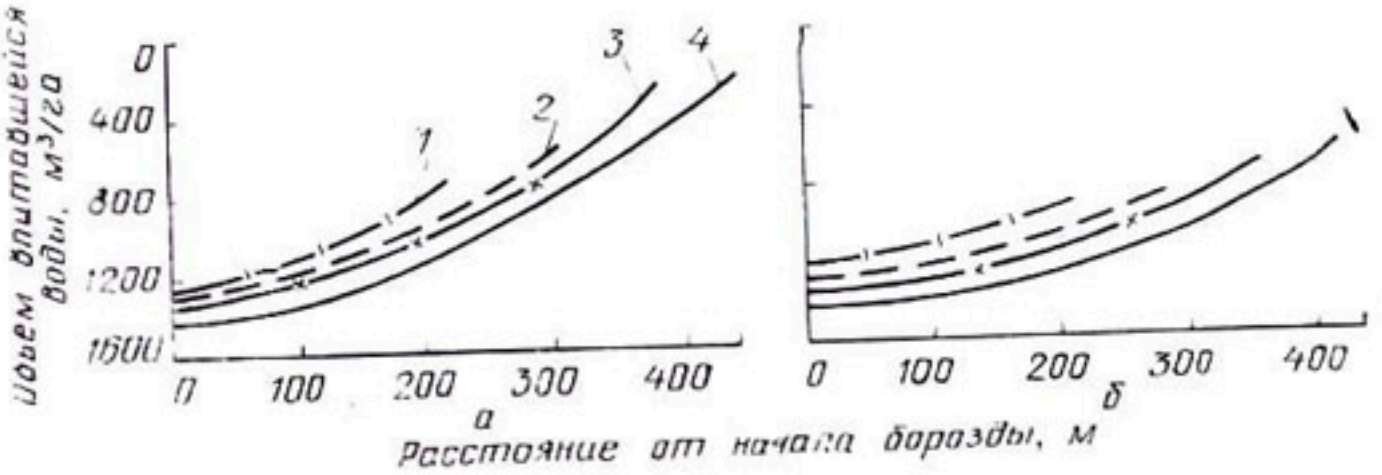


Рис. 32. Количество впитавшейся воды по длине борозды за время полива: *а* — первый полив: *1* — 0,6 л/с, *2* — 1.0/0,5 л/с, *3* — 0,95 л/с, *4* — 1,1 л/с; *б* — третий полив: *1* — 0,51 л/с, *2* — 0,82/0,42 л/с, *3* — 0,81 л/с, *4* — 0,94 л/с

период (полив переменной струей) позволило в наибольшей степени обеспечить равномерное распределение заданной нормы по поливному участку. Результаты исследований показали, что при малых и очень малых уклонах и поливах по бороздам длиной 200—300 м норма добегания должна составлять от 0,5 до 0,7 всей заданной поливной нормы. Примерно такие же соотношения нормы добегания получены В. Е. Еременко (1957), С. М. Кривовя-

зом (1962). Н. Т. Лактаев (1972) считает обязательным достаточное увлажнение концевых отрезков борозды нормой не менее 500 м³/га.

Одним из основных элементов техники полива является продолжительность водоподачи. По нашим данным, продолжительность полива должна быть в 1,9—4,9 раза больше времени, необходимого для добегания струи до конца борозды. При длинах борозд 150—400 м продолжительность полива не превышала 1 сут и в среднем изменялась в пределах 8—14 ч в зависимости от размера поливной струи, что согласуется с действующими рекомендациями по технике полива и результатам исследований других авторов (Кривовяз, 1966; Шейнкин, 1970; Шейнкин, Гордеев, 1986).

Таблица 72

Равномерность увлажнения почвы и эффективность использования поливной воды в зависимости от элементов техники полива при поливе средней нормой 1200 м³/га (среднее за 1973—1975 гг.)

Номер варианта	Увеличение влагозапасов после полива в слое 0—100 см, м³/га	Потери воды на испарение при поливе, м³/га	Глубинный сброс, м³/га	Поверхностный сброс, м³/га	КПД техники полива	Коэффициент равномерности полива
			Опыт 1			
1	960	38	166	36	0,80	0,81
2	943	31	166	60	0,79	0,76
3	922	36	194	48	0,77	0,70
4	874	35	207	84	0,73	0,63
5	827	39	226	108	0,69	0,52
6	793	42	197	168	0,66	0,49
			Опыт 2			
1	941	48	187	24	0,78	0,77
2	912	39	201	48	0,76	0,71
3	899	45	208	48	0,75	0,69
4	873	42	201	84	0,73	0,62
5	842	45	217	96	0,70	0,55
6	816	43	197	144	0,68	0,51
			Опыт 3			
1	986	36	166	12	0,82	0,84
2	974	29	173	24	0,81	0,82
3	957	43	164	36	0,80	0,81
4	933	34	185	48	0,78	0,76
5	930	43	155	72	0,78	0,78
6	897	36	183	84	0,75	0,72

Полученные данные показали, что при поливах нормой 1100—1300 м³/га в метровом слое почвы впитывалось от 793 до 986 м³/га (табл. 72). По мере увеличения длины борозды и поливной струи уменьшалось количество воды, впитывавшейся в почву. Полив

переменной струей обеспечивал увеличение влагозапасов в метровом слое до 6% по сравнению с поливом постоянным расходом. При длинах борозд 150—300 м в слое почвы 0—100 см аккумулировалось влаги в среднем 75—82% от заданной нормы, а при длинах 350—400 м — только 67—69%, что свидетельствует о наиболее высокой эффективности поливов по бороздам длиной, не превышающей 300 м. Это подтверждается данными по глубинному и поверхностному сбросу, согласно которым с увеличением длины борозд от 200 до 400 м сброс воды возрастал на 10—15%. При этом обеспечиваются высокий КПД техники полива — 0,73—0,82 и высокий коэффициент равномерности — $K_p > 0.73$ ($K_p = m_г/m_х$, где $m_г$ и $m_х$ — поливные нормы в голове и хвосте борозды). Наилучшие показатели по КПД техники полива и K_p получены при длинах борозд 150—200 м и поливах переменной струей (0,80—0,84). Поливная норма в конце борозды была меньше средней на 10—14% при длинах борозд до 200 м, на 18—24 — до 300 м и 28—34% — при 350—400 м (см. табл. 72). Хорошее увлажнение почвы достигалось при коэффициенте равномерности увлажнения более 0,70—0,8. Исследованиями установлено, что различия в уплотнении борозды и ее шероховатости повышают степень неравномерности увлажнения поливного участка, что указывает на необходимость регулирования размера струи с учетом скорости продвижения воды. В уплотненные проходами колес борозды расход воды следует уменьшать до 10—30% по сравнению с бороздами без уплотнения. Аналогичная картина при бороздковом поливе получена и другими исследователями (Мухаммадиев, Челюканов, 1984; Балаев, Шейнкин, 1985).

Неизбежная неравномерность увлажнения по длине борозды приводит к заметным различиям в водном режиме почв по площади поливного участка. В связи с этим при поверхностном орошении очень важно установить такие соотношения между элементами техники полива, которые обеспечивают регулирование водного режима почв в заданных пределах. Данные по влажности почвы показали, что в начале борозды в среднем за вегетационный период влажность в слое почвы 0—100 см была выше, чем в конце борозды на 3—10% от НВ. Равномерное распределение влажности почвы по длине поливного участка обеспечивалось при поливах переменной струей и длине борозды 150—250 м.

Урожайность хлопчатника в большой степени зависела от принятых элементов техники полива (табл. 73). В среднем за годы исследований урожай хлопка-сырца был достаточно высоким при поливе по бороздам длиной 150—250 м (3,04—3,38 т/га). В вариантах, где испытывались длинные поливные борозды (350—400 м), урожай был ниже на 0,49—0,67 т/га, или на 15,3—20,9%. Следует отметить, что применение переменных поливных струй при всех длинах борозд способствовало повышению урожая хлопка-сырца до 7% по сравнению с постоянными струями. При поливах постоянной струей и длинных поливных бороздах (350—400 м) урожай хлопка-сырца в конце их был ниже среднего на

25—32%, в то время как на бороздах 150—250 м эти различия не превышали 9—17%.

Таблица 73

Урожайность хлопчатника в зависимости от распределения поливной нормы по длине борозды и элементов техники полива (среднее за 1973—1975 гг.)

Номер варианта	Поливная норма по длине борозды, м³/га				Урожайность по длине борозды, т/га			
	в начале	в середине	в конце	средняя	в начале	в середине	в конце	средняя
				Опыт 1				
1	1263	1151	1018	1144	3,54	3,36	2,82	3,24
2	1269	1138	968	1125	3,43	3,18	2,57	3,06
3	1325	1147	930	1134	3,59	3,07	2,46	3,04
4	1338	1115	847	1100	3,51	2,89	2,21	2,87
5	1411	1065	740	1072	3,29	2,64	1,84	2,59
6	1373	993	667	1011	3,22	2,53	1,69	2,48
				Опыт 2				
1	1297	1163	996	1152	3,60	3,30	2,73	3,21
2	1319	1140	937	1132	3,51	3,17	2,56	3,08
3	1346	1143	931	1140	3,75	3,25	2,54	3,18
4	1356	1092	837	1095	3,76	3,08	2,28	3,04
5	1410	1059	777	1082	3,42	2,82	2,01	2,75
6	1382	1023	700	1035	3,42	2,76	1,92	2,70
				Опыт 3				
1	1264	1181	1065	1170	3,61	3,42	3,11	3,38
2	1272	1172	1039	1161	3,52	3,31	2,98	3,27
3	1257	1157	1015	1143	3,67	3,39	3,02	3,36
4	1282	1142	978	1135	3,50	3,21	2,83	3,18
5	1236	1125	960	1107	3,73	3,34	2,89	3,32
6	1265	1114	915	1098	3,51	3,13	2,63	3,09

Анализ полученных данных позволяет рекомендовать в условиях Голодной степи применение поливных борозд длиной не более 250—300 м, постоянных поливных струй 1 л/с и переменной — 1,2/0,6 л/с (Шуравилин, 1983). При поверхностном бороздковом поливе удлинение борозды сверх оптимальной длины не допустимо, так как она лимитируется планировкой, предельно допустимым размером струи на размыв и возрастанием неравномерности увлажнения почв по длине борозд. При этом невозможно добиться равномерного увлажнения без больших затрат воды на сброс.

За последние годы получило широкое распространение мнение о необходимости поливов хлопчатника по длинным бороздам и особенно на широкорядных посевах. Это обусловлено прежде всего необходимостью повышения производительности труда на поливе (Шейнкин, 1970; Павлов, 1970; Челюканов, 1970; Лактаев, 1978). Полив хлопчатника по удлиненным бороздам, как показа-

ли исследования (Еременко, 1957; Легостаев, 1961; Меднис, 1973), всегда приводят к увеличению поливных норм, сокращению числа вегетационных поливов и удлинению межполивного периода. Все это в целом отрицательно сказывается на росте и развитии растений и урожайности хлопчатника и приводит к нерациональному использованию земельно-водных ресурсов. С целью обоснования нецелесообразности поливов хлопчатника увеличенными поливными нормами нами в 1976—1978 гг. проведен специальный полевой опыт в совхозе «Ташкент» Мирзачульского района Джизакской области. Поливные нормы в вариантах № 1 и 2 составили 1000 м³/га, в вариантах № 3 и 4 — 1500, в вариантах № 5 и 6 — 2000 м³/га. Испытывались переменные и постоянные поливные струи: 1,0/0,5 и 0,75 л/с при длине борозд 250 м; 1,5/0,75 и 1,0 л/с при длине — 350 м. Уклон участка 0,0025—0,0035. Исследования проводились на фоне влагозарядково-промывных поливов нормами 2000—3000 м³/га. Почвы опытного участка среднесуглинистые, сероземно-луговые. Грунтовые воды в среднем за вегетацию залегали на глубине 2,2—3,0 м. Минерализация грунтовых вод изменялась от 6,08 до 11,17 г/л по плотному остатку и от 1,90 до 3,5 г/л по хлор-иону.

В период вегетации было проведено 3 полива хлопчатника по схеме 1—2—0. Оросительная норма при этом составляла в первых двух вариантах 3000 м³/га, в третьем и четвертом — 4500 м³/га и в пятом и шестом — 6000 м³/га. В зависимости от размера поливной струи изменялось время добегания. Так, при первом поливе по бороздам длиной 250 м и струе 1,0 л/с время добегания составило 275 мин, а при снижении струи до 0,75 л/с увеличилось на 14%. При втором поливе скорость движения в связи с некоторым уплотнением почвы ускорилась в среднем на 23%, а время добегания уменьшилось на 18%. При расходе воды в борозду 1,0 л/с скорость движения по сухой борозде варьировала в пределах 0,94—1,55 м/мин, а при расходе 0,75 л/с — 0,83—1,36 м/мин, увеличиваясь от первого к третьему поливу. При таких поливных струях размывов борозды не происходило, так как в головной части борозды скорость воды не превышала 2,25—2,48 м/мин.

Аналогичная картина наблюдалась и при длине поливных борозд 350 м. При увеличении расхода воды в борозду от 0,75 до 1,5 л/с время добегания сократилось на 14,2—47% и равнялось в среднем 312, 270 и 246 мин соответственно при первом, втором и третьем поливах. При этом скорость движения воды в борозде изменялась от 1,12 до 1,42 м/мин. При таких показателях норма добегания составляла 290—586 и 369—603 м³/га соответственно для поливных струй 1,5 и 1,0 л/с. Норма добегания снижалась с увеличением поливной струи, а также с уменьшением шероховатости борозд. За время добегания объем впитавшейся воды изменялся от 30 до 74% от заданной нормы в зависимости от длины борозды, поливной струи и поливной нормы. Наиболее оптимальный объем воды за время добегания составляет порядка 50% от

поливной нормы. С учетом этого поливная норма при поливе по бороздам длиной 350 м должна составлять 1500 м³/га, а при 250 м — 1000 м³/га.

Продолжительность полива нередко принимают равной 3—3,5 времени добегания, а норму добегания 0,5—0,6 поливной нормы, чтобы получить достаточную равномерность увлажнения почвы по длине борозды. Отношение продолжительности полива ко времени добегания определяется на основе анализа нормы добегания и равномерности распределения воды по отрезкам борозд. Наши данные показывают, что наиболее близкие показатели к рекомендуемым по продолжительности полива при длине борозд 350 м получены в варианте с поливной нормой 1500 м³/га и переменной поливной струей 1,5/0,75 л/с, при длине борозд 250 м — соответственно 1000 м³/га и 1,0/0,5 л/с. При других нормах и расходах воды в борозду увеличивался глубинный сброс, снижалась равномерность распределения воды и уменьшался КПД техники полива (табл. 74).

Таблица 74

Равномерность увлажнения почвы и эффективность использования поливной воды в зависимости от элементов техники полива

Номер варианта	Поливная норма, м³/га	Поливная струя, л/с	Продолжительность полива, ч	Увеличение влагозапасов после полива в слое почвы 0—100 см, м³/га	Потери воды на испарение при поливе, м³/га	Глубинный сброс, м³/га	Коэффициент равномерности полива	КПД техники полива
Длина борозды 250 м								
1	1000	1,0/0,5	13,6	880	37	83	0,85	0,88
2	1000	0,75	11,0	840	40	120	0,81	0,84
3	1500	1,0/0,5	19,8	1000	75	425	0,72	0,67
4	1500	0,75	20,0	950	70	480	0,68	0,63
5	2000	1,0/0,5	26,5	1050	95	855	0,65	0,52
6	2000	0,75	26,3	1000	90	910	0,61	0,50
Длина борозды 350 м								
1	1000	1,5/0,75	13,1	750	33	217	0,51	0,75
2	1000	1,0	11,7	700	36	264	0,50	0,70
3	1500	1,5/0,75	19,0	1000	65	435	0,67	0,67
4	1500	1,0	16,1	950	60	490	0,65	0,63
5	2000	1,5/0,75	24,8	1050	85	865	0,54	0,52
6	2000	1,0	20,4	1000	80	920	0,53	0,50

Различия в поливных нормах, длине поливных борозд и поливных струй сказались также на урожайности хлопчатника (табл. 75, рис. 33). При поливах по бороздам длиной 250 м наибольший урожай хлопка-сырца (3,42 т/га) получен в варианте № 1 с переменной поливной струей 1,0/0,5 л/с.

Таблица 75

Урожайность хлопчатника в зависимости от нормы полива и элементов техники полива, т/га

Номер варианта	Длина борозды 250 м				Длина борозды 350 м			
	1976 г.	1977 г.	1978 г.	среднее	1976 г.	1977 г.	1978 г.	среднее
1	2,98	3,96	3,32	3,42	2,56	2,55	3,06	2,72
2	2,94	3,75	3,15	3,28	2,49	2,63	2,93	2,68
3	2,76	3,39	3,08	3,08	2,89	2,96	3,37	3,07
4	2,73	3,32	2,95	2,00	2,83	2,83	3,14	2,93
5	2,76	2,96	2,77	2,83	2,87	2,90	2,89	2,89
6	2,74	2,84	2,73	2,77	2,84	2,73	2,82	2,80

В опыте с более длинными бороздами (350 м) наибольшая урожайность хлопчатника была в варианте № 3, где поливная норма составляла 1500 м³/га, поливная струя 1,5/0,75 л/с. Средний урожай по изучаемым вариантам при длине борозд 250 м составил 3,08 т/га, что на 0,24 т/га больше, чем при поливах по бороздам длиной 350 м. В оптимальном варианте с поливными бороздами 250 м урожай хлопка-сырца был на 0,35 т/га больше, чем в оптимальном варианте с поливными бороздами 350 м.

В целях повышения производительности труда целесообразно распределять воду сосредоточенными токами с тем, чтобы одновременный полив хлопчатника составлял не менее 10—15 га

Таблица 76

Рекомендуемые длина борозд и поливная струя воды при поливе хлопчатника с широкими междурядиями (0,9 м)

Водопроницаемость почвы	Уклон	Длина борозды, м	Поливная струя, л/с			
			Полив переменной струей		Полив постоянной струей	
			для первых двух поливов	для последующих поливов	для первых двух поливов	для последующих поливов
Слабая	Средний	300	0,8/0,4	0,7/0,4	0,6	0,5
	Малый	270	1,0/0,5	0,8/0,4	0,8	0,6
	Очень малый	250	0,9/0,4	0,8/0,4	0,7	0,6
Средняя	Средний	270	0,7/0,4	0,6/0,3	0,5	0,4
	Малый	230	1,2/0,6	1,0/0,5	1,0	0,8
	Очень малый	200	1,1/0,6	0,9/0,4	0,9	0,8
Высокая	Средний	170	1,0/0,5	0,8/0,4	0,8	0,6
	Малый	150	1,5/0,8	1,2/0,6	1,2	1,0
	Очень малый	120	1,4/0,7	1,3/0,7	1,1	1,0

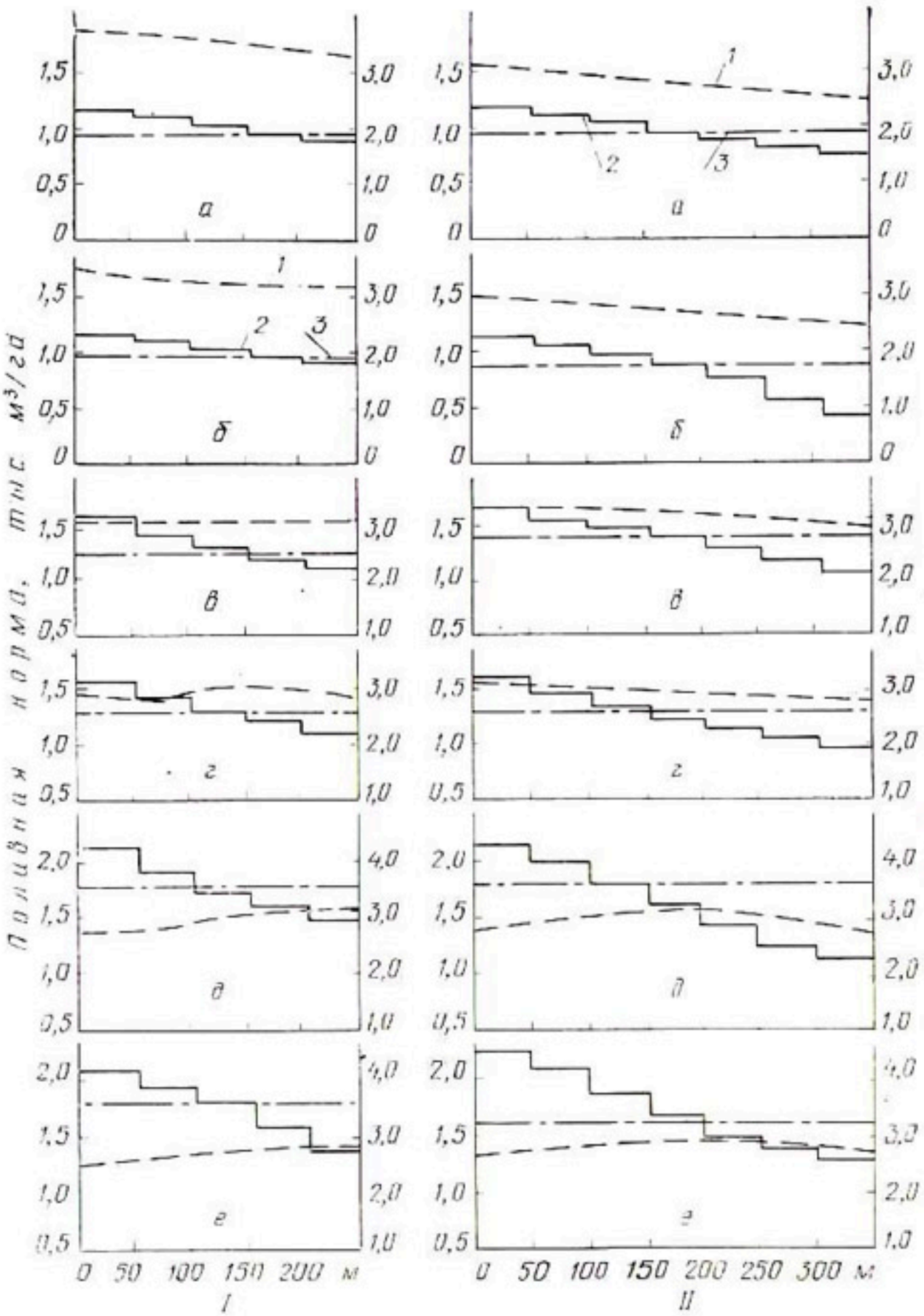


Рис. 33. Урожайность хлопка-сырца в среднем за 1976—1978 гг. в зависимости от распределения поливной нормы по длине борозды:

I — длина борозды 250 м: *а* — вариант 1 q=1,0/0,5 л/с, m=1000 м³/га, *б* — вариант 2 q=0,75 л/с m=1000 м³/га, *в* — вариант 3 q=1,0/0,5 л/с m=1500 м³/га, *г* — вариант 4 q=0,75 л/с m=1500 м³/га, *д* — вариант 5 q=1,0/0,5 л/с m=2000 м³/га, *е* — вариант 6 q=0,75 л/с m=2000 м³/га; *II* — длина борозды 350 м: *а* — вариант 1 q=1,5/0,75 л/с m=1000 м³/га, *б* — вариант 2 q=1,0 л/с m=1000 м³/га, *в* — вариант 3 q=1,5/0,75 л/с m=1500 м³/га, *г* — вариант 4 q=1,0 л/с m=1500 м³/га, *д* — вариант 5 q=1,5/0,75 л/с m=2000 м³/га, *е* — вариант 6 q=1,0 л/с m=2000 м³/га; *1* — урожайность хлопка-сырца по длине борозды, т/га; *2* — фактическая поливная норма по отрезкам борозды, тыс. м³/га; *3* — средняя норма полива, тыс. м³/га

(Баракаев, Дубоносов, 1983; Шуравилин, 1984а; Шейнкин и др., 1985). При этом для рационального использования каждого кубометра воды необходимо строгое соблюдение планового водопользования (Шуравилин, 1984б).

Таким образом, на малоуклонных, средневодопроницаемых почвах Голодной степи наибольший КПД техники полива, лучшее распределение поливной нормы по поливному участку и наибольший урожай хлопка-сырца обеспечиваются при поливах хлопчатника по бороздам длиной 250 м и переменной поливной струей 1,0/0,5 л/с. На основании обобщения результатов собственных исследований и опубликованных данных рекомендуются следующие оптимальные сочетания длины борозды и поливной струи в зависимости от уклона и водопроницаемости почвы на посевах хлопчатника с междурядьями 90 см (табл. 76).

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПОЛИВА ХЛОПЧАТНИКА ДОЖДЕВАНИЕМ

Дождевание — наиболее совершенный способ полива хлопчатника, позволяющий экономно расходовать поливную воду и равномерно распределять ее по площади. Многие авторы считают, что при поливе дождеванием происходит повышение урожая хлопка по сравнению с бороздковым поливом (Беспалов, Токмурзаев, 1962; Саттаров, 1966, 1973; Кигай, 1970; Меднис, Саттаров, 1974). Анализ технико-экономических показателей дождевальных машин ДДА-100М, ДМ-100 «Фрегат», ДКШ-64 «Волжанка», выполненный Н. Т. Лактаевым и В. Н. Шапошниковым (1976), показал, что наименьшие капиталовложения и эксплуатационные издержки получены для агрегата ДДА-100М. Применение его рекомендуется на опресненных землях с близким залеганием грунтовых вод при проведении поливов малыми нормами. Дождевальные машины «Фрегат» и «Волжанка» рекомендуется использовать на опесчаненных участках с бугристо-грядовым рельефом и обеспеченным оттоком грунтовых вод, а также на землях юго-западной окраины Голодной степи (Антонов и др., 1976).

Наряду с бесспорной эффективностью дождевания некоторые авторы настаивают на отрицательном влиянии его на урожай — снижении на новоосваиваемых землях Голодной степи на 0,5—0,6 т/га. Аналогичные результаты получены на тяжелых почвах в Северном Таджикистане и Хорезмской области (Рустамов и др., 1976).

При поливе дождеванием в условиях Голодной степи В. Н. Антонов и др. (1976) указывают на большие потери оросительной воды (до 30% от водоподачи) и интенсивное соленакопление при отсутствии влагозарядки. В связи с этим возникла необходимость экспериментальной проверки эффективности дождевания. В этом отношении представляет интерес результат опытной проверки

поливов хлопчатника дождеванием и по бороздам. В 1970—1973 гг. в совхозе «Пахтаарал» проводился производственный опыт в двухкратной повторности с тремя вариантами: в первом варианте дождевание осуществлялось агрегатом ДДА-100 М, во втором — полив по бороздам и в третьем — первый полив дождеванием, а последующие — по бороздам. Расход воды в поливную борозду принимался переменным: при добегании 0,10 л/с, при доувлажнении — 0,5 л/с. Длина поливной борозды составила 200 м. Глубина грунтовых вод варьировала от 1,2—1,8 м в начале вегетации до 3,5—4,5 м во время уборки. Повышение уровня наблюдалось в почве при поливе по бороздам. Подъем грунтовых вод зависел от поливной нормы и изменялся от 10 до 60 см. Минерализация грунтовых вод в период вегетации колебалась от 6,05 до 8,40 г/л по плотному остатку и от 0,41 до 0,60 г/л по хлору без существенных различий по вариантам.

Основные показатели по режиму орошения хлопчатника на фоне осенне-зимних промывных поливов при разных способах орошения приведены в табл. 77. За вегетационный период проведено два полива по бороздам оросительной нормой 2550—2650 м³/га и три полива дождеванием поливными нормами 600—700 м³/га и оросительной нормой 1680—1980 м³/га. При смешанном способе орошения в средние годы проводилось 2—3 полива. Оросительная норма при этом изменялась от 1960 до 3280 м³/га. Как правило, при дождевании проводилось на один полив больше, чем при самотечном орошении по бороздам.

При поливе по бороздам норма полива распределялась крайне неравномерно по длине поливного участка. В начале борозды поливная норма была больше средней в 1,2 раза, а на концевом участке — в 1,3 раза меньше. При высоких поливных нормах (1250—1350 м³/га) концевые отрезки борозд получали 950—1050 м³/га влаги, что обеспечило необходимое увлажнение активного слоя почвы и не повлекло за собой снижения урожая. Иная картина в распределении поливной нормы по площади наблюдалась при поливе дождеванием. В этом случае по длине дождевального крыла ДДА-100 М различия в норме поданной воды были незначительными, что обеспечило стабильность в росте и развитии растений.

Влажность почвы в течение вегетации при принятых нормах полива по бороздам и дождеванием поддерживалась в оптимальных пределах. В 1970 г. предполивная влажность почвы при первых двух поливах была около 75% НВ для слоя 0—50 см и 85% НВ для слоя 0—100 см. Перед третьим поливом дождеванием влажность в метровом слое почвы равнялась 74% НВ, но в период уборки она понизилась до 60—66% НВ. В 1971—1973 гг. влажность почвы перед поливами для расчетных слоев составляла 70—75% НВ. Иссушение почвы за весь период вегетации при орошении дождеванием и смешанном орошении (при меньшем числе поливов) было несколько больше, чем при поливе по бо-

Таблица 77

Влияние способов орошения на урожайность хлопчатника

Год	Номер делянки	Способ полива	Полив			Схема полива	Оросительная норма, м³/га	Урожайность, т/га
			1-й	2-й	3-й			
1970	1	Дождевание	660 / 23.VI	700 / 13.VII	320 / 11.VIII	1—2—0	1680	3,95
	2	По бороздам	1250 / 29—30.IV	1300 / 25—26.VII	—	0—2—0	2550	3,53
	3	Смешанный	660 / 27.VI	1300 / 24—25.VII		0—2—0	1960	3,96
1971	1	Дождевание	780 / 24—26.VI	890 / 10—11.VII	780 / 8—9.VIII	0—3—0	2450	3,99
	2	По бороздам	1300 / 24—30.VI	1350 / 22—23.VII	—	0—2—0	2650	3,76
	3	Смешанный	780 / 28.VI	1300 / 24.VII	1200 / 8.VIII	1—2—0	3280	3,98
1972	1	Дождевание	660 / 26—27.VI	780 / 16—17.VII	420 / 9—10.VIII	0—3—0	1860	4,26
	2	По бороздам	1250 / 23—25.VI	1250 / 18—19.VII	1200 / 9—10.VIII	1—2—0	3700	4,06
	3	Смешанный	660 / 24.VI	1250 / 18.VII	1200 / 10.VIII	1—2—0	3110	4,50
1973	1	Дождевание	660 / 23—24.VI	780 / 15—16.VII	540 / 7—8.VIII	1—2—0	1980	4,12
	2	По бороздам	1300 / 24—26.VI	1350 / 26—28.VII	—	1—1—0	2650	4,09
	3	Смешанный	780 / 24.VI	1350 / 26.VII	—	1—1—0	2130	4,44

Примечание. Числитель — норма полива, знаменатель — дата полива.

роздам. На фоне промывных поливов содержание солей было невысоким (табл. 78).

Таблица 78

Содержание солей в метровом слое почвы (%) и коэффициент сезонного засоления (КСЗ) (среднее за 1970—1973 гг.)

Номер варианта	Плотный остаток			Хлор-ион		
	Весна	Осень	КСЗ	Весна	Осень	КСЗ
1	0,356	0,470	1,32	0,009	0,022	2,46
2	0,295	0,383	1,30	0,008	0,016	1,85
3	0,334	0,426	1,27	0,009	0,018	2,0

Наибольшее накопление солей происходило при дождевании. В отдельные годы содержание плотного остатка к концу вегетации доходило до 0,488%, а хлор-иона — до 0,024%. В течение 4 лет исследований в этом варианте почва оставалась слабозасоленной. Причем в начале вегетации почва по содержанию иона хлора в метровом слое на фоне промывки оставалась незасоленной. При самотечном поливе и смешанном орошении почвы были в большей степени рассолены, и реставрация засоления за период вегетации проявлялась в несколько меньших размерах.

Однако, несмотря на это, при всех способах орошения рост и развитие растений протекали интенсивно и были получены высокие урожаи хлопчатника. В 1971 и 1973 гг. растения хлопчатника развивались примерно одинаково, а в 1970 и 1972 гг. их развитие происходило более интенсивно при поливе дождеванием, а также при смешанном орошении. Урожай хлопка-сырца был больше при поливе дождеванием на 5,7%, смешанном — на 9,3%, чем при бороздковом поливе. Затраты поливной воды на 1 т хлопка-сырца при дождевании были в среднем меньше в 1,5 и 1,3 раза при бороздковом и смешанном поливах соответственно. При дождевании они в среднем составили 488 м³/т.

Многолетний опыт совхоза «Пахтаарал» и результаты наших исследований показывают, что к поливам дождеванием следует приступать с 18—30 июня и заканчивать 5—15 августа. Преимущество дождевания проявляется не только в сокращении затрат оросительной воды, но и затрат труда. При дождевании затраты труда составили в среднем 1,5 человеко-дня на 1 га полива, в то время как при орошении по бороздам они были выше в 3 раза. В то же время калькуляция затрат на дождевание и полив по бороздам показывает, что дождевание 1 га за один полив обходится дороже в 1,6 раза (15,24 руб./га — при дождевании и 9,64 руб./га — при бороздковом поливе). Это связано с большими затратами на аммортизацию, текущий ремонт и горюче-смазочные материалы. Дождевание обеспечивает высокую степень механизации труда, что позволяет рекомендовать этот способ на почвах, развитых на лессах и лессовидных суглинках, однородных по механическому составу и рыхлых по сложению почвогрунтов.

В этих условиях происходит интенсивный подток влаги из грунтовых вод даже при их залегании 2,5—3,5 м. Создающийся при этом дефицит влаги в метровом слое невелик и восполнение его без потерь влаги на глубинный сброс возможно только при применении полива способом дождевания.

Глава V

МЕЛИОРАТИВНЫЕ ПРИЕМЫ УСКОРЕННОГО РАССОЛЕНИЯ И ПОВЫШЕНИЯ ПЛОДОРОДИЯ СИЛЬНОЗАСОЛЕННЫХ ТРУДНОМЕЛИОРИРУЕМЫХ ПОЧВ

РАССОЛЕНИЕ ПОЧВ НА ФОНЕ ГЛУБОКОГО РЫХЛЕНИЯ И ВРЕМЕННОГО ДРЕНАЖА

В Голодной степи к трудномелиорируемым можно отнести сероземно-луговые гипсоносные почвы. Для рассоления их требуются огромные запасы оросительной воды (20—40 тыс. м³/га) и очень продолжительный период промывки (3—4 мес и более), так как вымыв солей вследствие очень низкой фильтрации сильно затруднен. Из слоя почвы 0—100 см 1 м³ воды вымывается солей в 3—5 раз меньше, чем из почв с благоприятными водно-физическими свойствами (Муратов и др., 1968; Беспалов, 1981; Ваксман, 1983; Авлакулов, 1984 и др.).

Исследования по повышению эффективности капитальной промывки с применением глубокого рыхления и временных дрен, обеспечивающих достаточные скорости фильтрации промывных вод, проводились на двух опытных участках в 1975—1978 гг. совместно с Н. Ф. Беспаловым в совхозе Ю. А. Гагарина Сырдарьинской области. Почвы опытных участков сероземно-луговые среднесуглинистые, с глубины 90 см нередко подстилаются легким суглинком. В пределах слоя почвы 0—100 см залегают гипсированные прослойки мощностью до 40—50 см с глубины 30—40 см. Водно-физические свойства почв характеризуются следующими данными. Объемная масса в слое 0—100 см составляет 1,49 г/см³, общая порозность — 44%, наименьшая влагоемкость — 23,6%. Коэффициент фильтрации равен 0,014 м/сут, а с поверхности гипсированного горизонта — 0,004 м/сут. Тип засоления почвы хлоридно-сульфатный с общим содержанием токсичных солей 1,13—1,36% в верхнем метровом горизонте.

В первом опыте капитальная промывка проводилась летом 1975 г., во втором — в осенне-зимний период 1975/76 г. Промывная норма составляла 15 тыс. м³/га и подавалась по 2—

3 тыс. м³/га в каждый такт. После капитальной промывки ежегодно в осенне-зимний период проводилась профилактическая промывка нормой 3 тыс. м³/га. В вариантах № 1, 3, 5 и 7 капитальная промывка осуществлялась после вспашки на глубину 25 см, а вариантах № 2, 4, 6 и 8 кроме пахоты рыхлили почву на глубину 70 см с помощью плантажного плуга ППН-50 со снятым отвалом. Однако плуг создавал неровности поверхности, поэтому после рыхления почву выравнивали. В вариантах № 3 и 4 нарезались временные дрены через 20 м, в вариантах № 5 и 6 — через 30, в вариантах № 7 и 8 — через 40 м глубиной 0,9—1,0 м. Опыты проводились на участках с глубоким закрытым горизонтальным дренажем (3,0—3,5 м), расстояние между дренажами — 150 м.

Применение глубокого рыхления позволило существенно разуплотнить гипсовый горизонт. Объемная масса во всем разрыхленном слое снизилась на 7—8% по сравнению с обычной вспашкой, а гипсового горизонта на 18%. В последующий период уплотнение почвы происходило практически до первоначального уровня, за исключением гипсового горизонта. Наибольшее влияние глубокое рыхление оказало на повышение водопроницаемости почвы. Если при обычной вспашке за 6 ч впиталось 18,1—19,6 мм воды, то при сочетании с глубоким рыхлением этот показатель увеличился в 3,9—4,3 раза.

В гипсовом горизонте на фоне обычной вспашки впитывалось воды в 10—11 раз меньше, чем с поверхности, в то время как в сочетании с глубоким рыхлением оно увеличилось более чем в 30 раз и было достаточно высоким (52,2—59,7 мм за 6 ч). Неодинаковые расстояния между временными дренами (20—40 м) и различная технология обработки почвы перед промывкой оказали влияние на продолжительность промывки (табл. 79).

Таблица 79

Влияние глубокого рыхления, временного дренажа и сроков промывки на ее продолжительность и потери промывной воды на испарение

Номер варианта	Летняя промывка (опыт 1)				Осенне-зимняя промывка (опыт 2)			
	срок промывки	продолжительность, сут	испарение, мм		сроки промывки	продолжительность, сут	испарение, мм	
			всего	% от промывной нормы			всего	% от промывной нормы
1	3.VI—21.IX	110	638,8	42,6	15.X—25.II	133	212,9	14,2
2	8.VI—28.VIII	81	513,6	34,2	22.X—27.I	97	165,5	11,0
3	12.VI—9.IX	89	549,9	36,7	26.X—3.II	100	156,5	10,4
4	26.VI—2.IX	68	422,6	28,2	12.XI—24.I	73	112,2	7,5
5	8.VI—9.IX	93	565,8	37,7	20.X—9.II	112	178,6	11,9
6	19.VI—30.VIII	72	453,5	30,2	8.XI—26.I	79	121,1	8,1
7	9.VI—12.IX	101	609,8	40,7	15.X—18.II	126	202,4	13,5
8	19.VI—3.IX	76	474,8	31,7	30.X—26.I	88	144,0	9,6

В вариантах с глубоким рыхлением сроки капитальных промывок сильнозасоленных почв сократились в среднем на 27% по сравнению с обычной вспашкой. Дополнительное устройство временного дренажа через 20—30 м на фоне постоянного в сочетании с глубоким рыхлением дает еще лучшие результаты. На промывку уходило на 28—34% и 40—45% времени меньше соответственно при летнем и осенне-зимнем периодах ее проведения. Наиболее эффективными были варианты № 4 и 6, в которых вспашку провели на глубину 25 см в сочетании с глубоким рыхлением на фоне закрытого дренажа и временного, проложенного через 20—30 м. Если при традиционных способах капитальная промывка продолжалась 110—133 дня, то в нашем опыте — 68—79 дней. Следовательно, применение такой технологии с проведением промывки в осенне-зимний период сокращает срок промывки в 1,7—1,8 раза по сравнению с обычной технологией и позволяет в один год промыть почвы и получить с освоенных земель сельскохозяйственную продукцию.

При промывках в летний период происходит значительная потеря воды на испарение — в 3—4 раза больше, чем при осенне-зимней промывке. Существенного сокращения их (до 7,5—8,1%) можно достигнуть при проведении промывки в осенне-зимний период на фоне обычной вспашки в сочетании с глубоким рыхлением и временным дренажем через 20—30 м (см. табл. 79).

Уровень грунтовых вод на опытных участках тесно связан с особенностями мелиоративного освоения земель. Перед капитальной промывкой грунтовые воды залегали на глубине 267—298 см, причем в опыте 1 они находились на 12—23 см глубже, чем в опыте 2. При прерывистой подаче воды в чеки в интервале между разовыми промывками, а также после завершения промывки интенсивность спада грунтовых вод варьировала от 3 до 14 см/сут. При этом отчетливо прослеживается высокая эффективность глубокого рыхления и временного дренажа в понижении уровня грунтовых вод. Только вследствие проведения глубокого рыхления дополнительно к обычной вспашке скорость снижения грунтовых вод возрастала на 30—40%. При сокращении расстояний между временными дренами от 40 до 20 м интенсивность снижения грунтовых вод увеличивалась на 10—30%.

Грунтовые воды на опытных участках до проведения промывки имели минерализацию 12,4—12,6 г/л по плотному остатку, в том числе сумма токсичных солей составляла 10,5—10,9 г/л. Токсичных ионов натрия и хлор-иона соответственно было 3,65—3,73 и 2,83—2,94 г/л. По характеру засоления они относились к хлоридно-сульфатно-натриевым. В начале промывки отмечалось увеличение степени минерализации грунтовых вод, а затем постепенное ее снижение по мере опреснения почв. После промывки минерализация грунтовых вод снизилась примерно в 2 раза при глубоком рыхлении и частом временном дренаже.

Проведение только глубокого рыхления снижало сумму токсичных солей в грунтовых водах в среднем на 22,5% по сравне-

нию с обычной вспашкой. На фоне временного дренажа произошло еще большее снижение степени минерализации грунтовых вод. Меньшая минерализация грунтовых вод после промывки (5,68—5,85 г/л по сумме токсичных солей в опыте 1 и 4.57—5.49 г/л в опыте 2) обусловлена действием временного дренажа, проложенного через 20—30 м, и глубокого рыхления.

Временный мелкий дренаж, работающий в сочетании с глубоким закрытым, в значительной степени усиливал отток воды. При этом сток зависел от расстояния между временными дренами, обработки почвы и срока промывки (табл. 80). Средний модуль

Таблица 80

Модуль дренажного стока и вынос солей дренажными водами

Номер варианта	Дренажный сток		Модуль дренажного стока, л/с/га	Вынос солей, т/га		
	м³/га	% от промывной нормы		плотного остатка	токсичных	хлорион
Летняя промывка (опыт 1)						
3	4534	30,2	0,564	53,9	35,7	15,6
4	6789	45,3	1,067	130,0	114,0	34,8
5	3933	26,2	0,469	49,1	43,5	13,9
6	6029	40,2	0,930	118,6	105,4	30,3
7	2790	18,6	0,397	35,8	21,5	6,0
8	4908	32,7	0,719	107,1	96,1	25,0
Осенне-зимняя промывка (опыт 2)						
3	7102	47,3	0,790	75,6	68,3	20,8
4	9435	62,9	1,436	15,2	141,5	41,4
5	5897	39,3	0,588	60,7	56,3	19,2
6	8286	55,2	1,169	129,5	117,4	33,8
7	4318	28,8	0,384	53,5	47,0	12,0
8	6898	46,0	0,877	113,6	104,0	28,3

стока из временных дрен, проложенных через 40 м, по сравнению с междренным расстоянием 20 м уменьшился на 46—51% на фоне обычной вспашки и на 33—39% при сочетании обычной вспашки и глубокого рыхления. На фоне глубокого рыхления и расстояния между временными дренами 20—30 м дренажный сток достигал наибольших значений. Объем дренажного стока при этом составлял 6029—6789 м³/га, или 40,2—45,3% от промывной нормы в опыте 1 и 8286—9435 м³/га, или 55,2—62,9% в опыте 2. Вследствие проведения глубокого рыхления объем дренажного стока по сравнению с обычной вспашкой увеличивался на 2096—2255 м³/га, или на 33,2—43,2% в опыте 1 и на 2333—2580 м³/га или на 24,7—37,4% в опыте 2. При проведении промывки в осенне-зимний период по сравнению с летним периодом сток из временных дрен был в среднем больше на 2326 м³/га, что составляет

15,5%, от промывной нормы. Более половины промывной воды отводилось временными дренами при промывке почвы в осенне-зимний период на фоне глубокого рыхления и временного дренажа через 20—30 м.

В промывной период происходило сначала увеличение минерализации дренажного стока до 25—28 г/л, а затем постепенное его опреснение до 7—10 г/л в опыте 1 и до 5—6 г/л в опыте 2. С увеличением расстояния между временными дренами от 20 до 40 м минерализация дренажного стока повысилась на 4—7,5%. На фоне обычной вспашки в сочетании с глубоким рыхлением минерализация дренажного стока была больше, чем при обычной вспашке.

При промывке почвы в осенне-зимний период на фоне глубокого рыхления с дренажными водами удалялось 104—141,5 т/га токсичных солей, что в 2.1—2,2 раза больше, чем при обычной вспашке. Временные дрены в сочетании с глубоким рыхлением в значительной степени усиливали вымыв солей из почвогрунта (см. табл. 80). На фоне глубокого рыхления с дренажными водами отводилось больше плотного остатка в 2,0—2,1, а хлор-иона в 1,8—2,4 раза, чем при обычной вспашке. Промывкой в осенне-зимний период было удалено солей с дренажными водами на 6—33% больше, чем при летней промывке, в связи со значительным объемом отводимых промывных вод. Наибольший вынос солей отмечался при расстоянии между дренами 20 м на фоне глубокого рыхления (130 т/га в опыте 1 и 152 т/га в опыте 2). На фоне глубокого рыхления при расстоянии между дренами 30 м было вынесено солей на 8,8—14,8% меньше, а при расстоянии 40 м — на 17,6—25,3% по сравнению с расстоянием 20 м. Наибольший эффект достигался при осуществлении промывки в осенне-зимний период.

Фактическая промывная норма с учетом выпавших осадков составила 9680—10786 м³/га в опыте 1 и 13994—14474 м³/га в опыте 2. При этом на пополнение запасов влаги в слое аэрации (норма насыщения) из указанного объема ушло 1148—1444 м³/га воды, что составляет 7,7—9,6% от общей промывной нормы. Таким образом, на вымыв солей из почвы (норма вытеснения) было израсходовано воды 7236—9635 м³/га, или 48,2—64,2% от промывной нормы в опыте 1 и 12580—13241 м³/га, или 83,9—88,3% в опыте 2. Наиболее рациональное использование промывной воды отмечалось при частом расположении временных дрен (20—30 м) на фоне глубокого рыхления. Причем при промывке в осенне-зимний период из-за снижения потерь воды на испарение фактический объем воды на промывку увеличился в 1,3—1,6 раза по сравнению с летним сроком промывки.

Промывка обеспечила существенное снижение содержания солей, особенно в верхнем метровом слое почвы (табл. 81, рис. 34, 35). Вытеснение солей из почвы протекало более интенсивно при промывке в осенне-зимний период на фоне глубокого рыхления и временного дренажа. Между тем при обычной вспашке без вре-

Таблица 81

Содержание солей в почве в слое 0—100 см до и после промывки, %

Номер варианта	HCO_3^-	Cl^-	SO_4^{--}	Ca^{++}	Mg^{++}	Na^+	K^+	Плотный остаток	Токсичные соли
Опыт 1 (летняя промывка)									
1	0,024 0,021	0,294 0,236	1,140 1,028	0,264 0,356	0,062 0,052	0,320 0,264	0,005 0,004	2,188 1,892	1,206 0,986
2	0,023 0,024	0,271 0,179	1,138 0,981	0,273 0,260	0,060 0,046	0,342 0,194	0,004 0,004	2,245 1,748	1,178 0,798
3	0,024 0,025	0,306 0,156	1,139 0,972	0,258 0,253	0,068 0,052	0,353 0,184	0,003 0,004	2,234 1,713	1,268 0,780
4	0,017 0,019	0,328 0,050	1,185 0,818	0,255 0,243	0,069 0,037	0,372 0,083	0,006 0,005	2,327 1,262	1,355 0,425
5	0,022 0,024	0,311 0,172	1,174 0,992	0,263 0,247	0,068 0,052	0,344 0,198	0,005 0,005	2,268 1,763	1,288 0,845
6	0,024 0,025	0,307 0,058	1,205 0,858	0,259 0,252	0,080 0,046	0,335 0,076	0,004 0,005	2,359 1,373	1,328 0,457
7	0,024 0,023	0,254 0,187	1,112 1,017	0,266 0,256	0,060 0,049	0,316 0,218	0,005 0,004	2,206 1,792	1,127 0,879
8	0,024 0,024	0,289 0,069	1,188 0,829	0,261 0,250	0,063 0,038	0,363 0,083	0,005 0,005	2,326 1,372	1,300 0,443
Опыт 2 (осенне-зимняя промывка)									
1	0,020 0,023	0,316 0,154	1,139 0,976	0,254 0,246	0,060 0,047	0,328 0,186	0,005 0,004	2,191 1,669	1,254 0,795
2	0,022 0,023	0,279 0,136	1,198 0,965	0,279 0,262	0,064 0,048	0,342 0,165	0,003 0,004	2,263 1,621	1,234 0,707
3	0,024 0,025	0,323 0,132	1,198 0,944	0,258 0,252	0,068 0,053	0,364 0,170	0,003 0,005	2,298 1,593	1,355 0,719
4	0,018 0,021	0,344 0,020	1,175 0,738	0,260 0,256	0,060 0,026	0,373 0,026	0,004 0,005	2,326 1,109	1,346 0,217
5	0,023 0,024	0,320 0,134	1,156 0,951	0,263 0,260	0,060 0,048	0,342 0,177	0,004 0,004	2,257 1,659	1,304 0,709
6	0,025 0,023	0,298 0,028	1,162 0,755	0,256 0,240	0,066 0,031	0,315 0,041	0,005 0,004	2,226 1,174	1,251 0,301
7	0,022 0,024	0,293 0,167	1,231 0,974	0,263 0,250	0,068 0,048	0,338 0,198	0,005 0,005	2,313 1,728	1,321 0,811
8	0,026 0,024	0,290 0,049	1,205 0,822	0,261 0,243	0,066 0,032	0,352 0,076	0,007 0,005	2,295 1,312	1,314 0,419

Примечание. Числитель — содержание солей до промывки, знаменатель — после промывки.

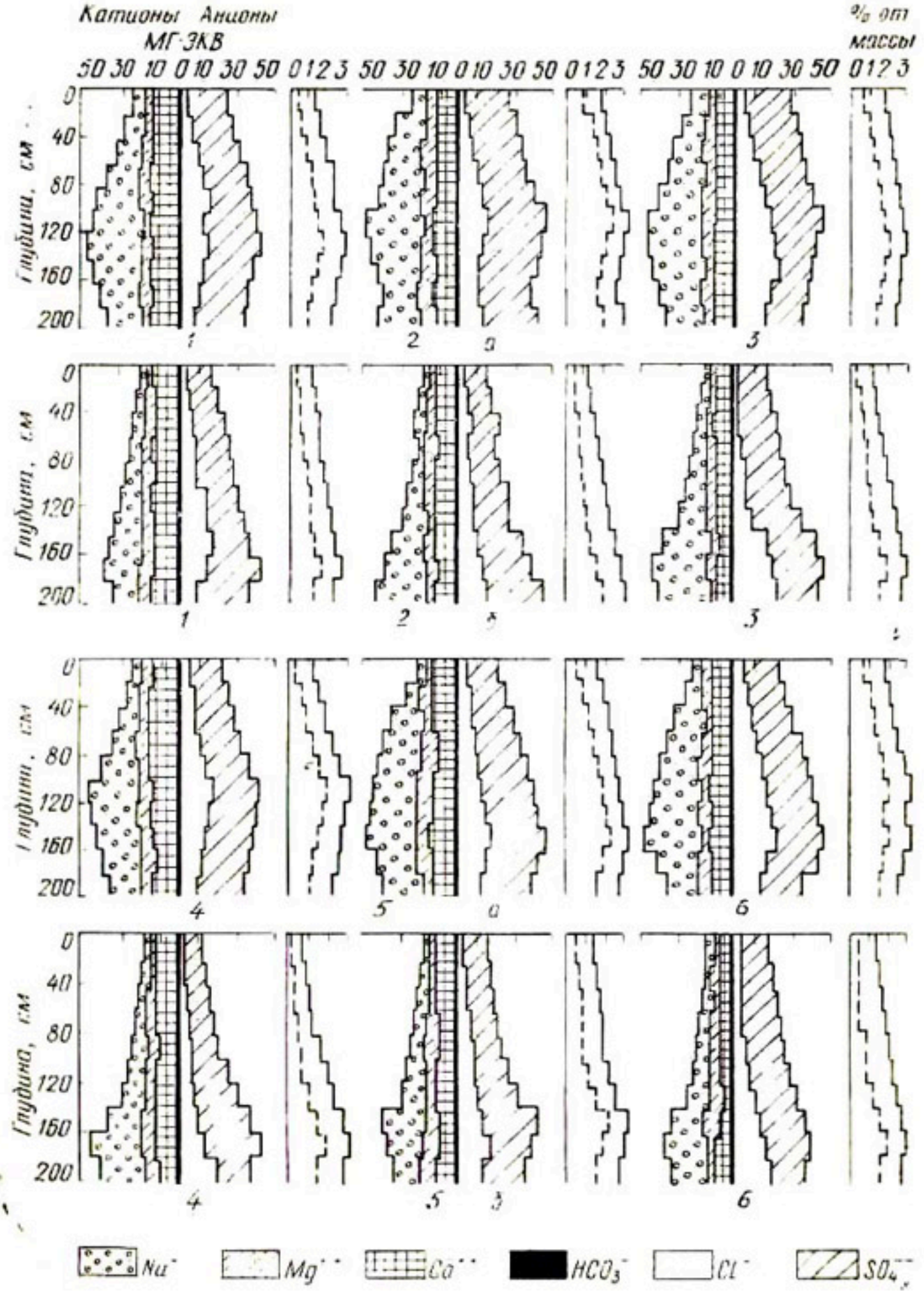


Рис. 34. Распределение солей по профилю почвогрунта в опыте 1:

а — до промывки; *б* — после промывки; *1* — вариант 1; *2* — вариант 2; *3* — вариант 3; *4* — вариант 4; *5* — вариант 7; *6* — вариант 8; — плотный остаток; — токсичные соли

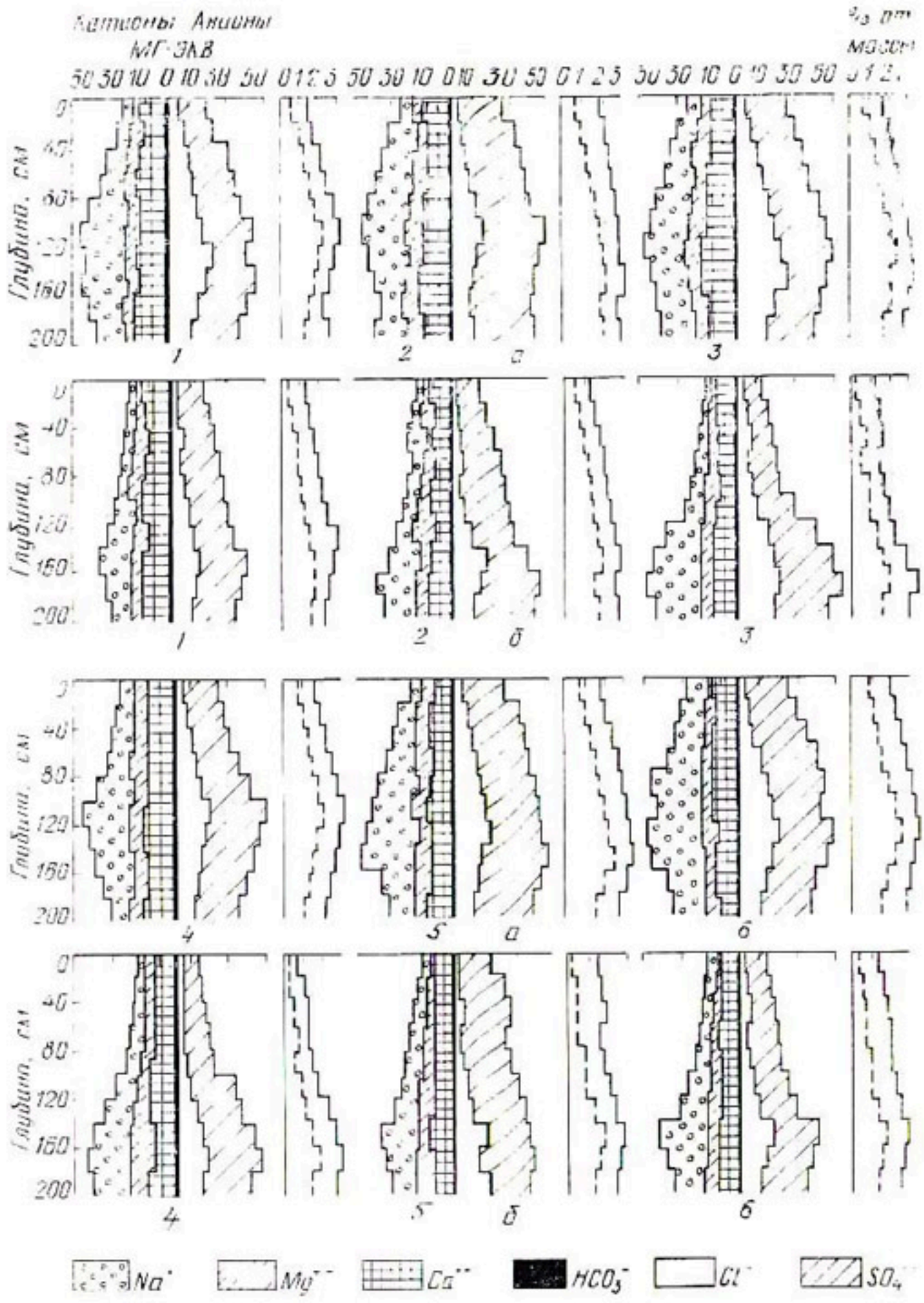


Рис. 35. Распределение солей по профилю почвогрунта в опыте 2:

а — до промывки; *б* — после промывки; *1* — вариант 1; *2* — вариант 2; *3* — вариант 3; *4* — вариант 4; *5* — вариант 7; *6* — вариант 8; — плотный остаток; — — — токсичные соли

менного дренажа рассоление ниже порога токсичности достигнуто лишь на глубину до 20 см. Более глубокие почвенные слои оставались в значительной степени засоленными. Следовательно, мнение некоторых исследователей (Решетов, Морозов, 1981) о том, что следует применять поэтапную капитальную промывку с ежегодным увеличением расслояемого слоя на засоленных землях с плотным гипсированным слоем, нашими исследованиями не подтверждается. Важнейшим условием повышения эффективности промывки на таких землях является временный дренаж в сочетании с глубоким рыхлением. Однако при отсутствии плотных слоев по всей площади некоторые авторы предлагают первоначально промывать слой 0,5—0,7 м (Кирейчева, 1980; Сидько и др., 1985).

На фоне обычной вспашки в сочетании с глубоким рыхлением, но без временного дренажа (вариант № 2) норма промывки 15 тыс. м³/га была также недостаточной. Этой нормой достигнуто опреснение слоя 0—20 см в опыте 1 и 0—40 см в опыте 2. Слои 0—60 и 0—100 см были доведены только до уровня среднего засоления. Остаточное содержание токсичных солей в слое почвы 0—100 см равнялось 0,798 (опыт 1) и 0,707% от массы (опыт 2).

Рассоление почвы заметно усилилось при наличии временного дренажа, при этом действие его возрастало по мере уменьшения междренного расстояния. Так, на фоне обычной вспашки без временного дренажа содержание солей после промывки было значительно больше, чем в вариантах с временными дренами. Рассоление почвы в варианте с междренным расстоянием 20 м как при осенне-зимней, так и летней промывке проходило более интенсивно, чем при междренном расстоянии 40 м. При уменьшении расстояний между дренами от 40 до 30 м на фоне глубокого рыхления вымыв токсичных солей из почвы при осенне-зимней промывке увеличился от 68,1 до 75,9% от исходного.

В варианте № 4 солеотдача из почвы была самой высокой (68,6 и 83,9% по сумме токсичных солей; 34,8 и 94,2% по иону хлора; 77,7 и 93,0% по иону натрия от исходного соответственно в опытах 1 и 2). Следовательно, для рассоления метрового слоя почвы до 0,02—0,03% по хлор-иону и до 0,3% по сумме токсичных солей достаточна промывная норма 15 тыс. м³/га при промывке на фоне обычной вспашки, глубокого рыхления и временных дрен через 20—30 м только в том случае, если она проводится в осенне-зимний период. При проведении промывки в летний период, когда бесполезно расходуется большой объем воды на испарение, рассоление метрового слоя почвы было значительно меньше.

Было отмечено, что по мере увеличения промывной нормы вымыв солей из почвы постепенно снижался (рис. 36). По сравнению с контролем (вариант № 1) вымыв токсичных солей, а также ионов хлора и натрия из метрового слоя почвы увеличился на 30—50% при промывке на фоне глубокого рыхления и временного дренажа через 20—30 м. На контроле при норме промывки

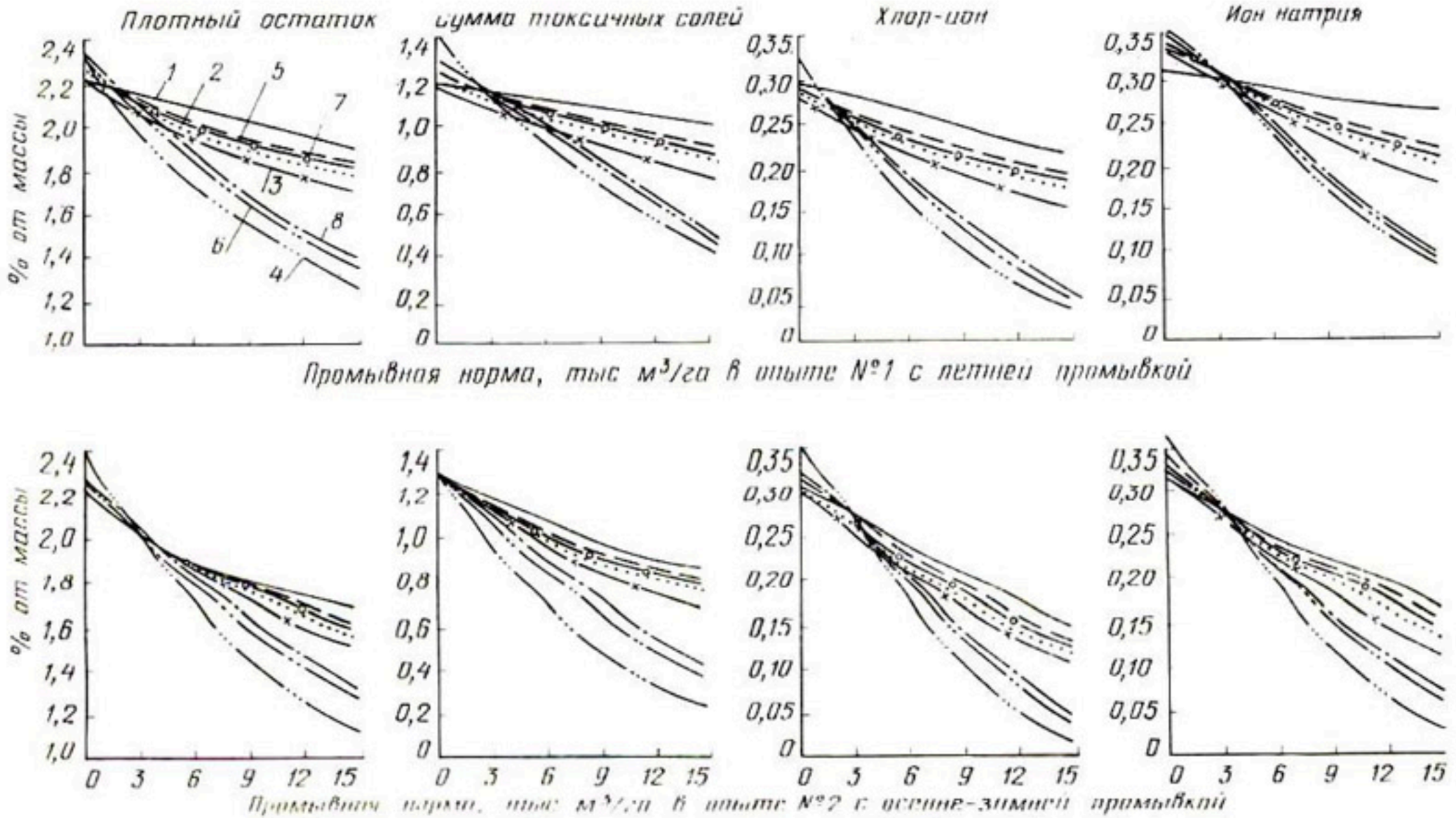


Рис. 36. Изменение содержания солей в слое почвы 0—100 см в зависимости от промывной нормы:

1 — вспашка на 25 см, *2* — то же + глубокое рыхление; *3*, *5* и *7* — вспашка на 25 см + временный дренаж соответственно через 20, 30 и 40 м; *4*, *6* и *8* — вспашка в сочетании с глубоким рыхлением + временный дренаж соответственно через 20, 30 и 40 м.

15 тыс. м³/га одним кубическим метром воды было вымыто 2,2—4,5 кг токсичных солей, в том числе 0,6—1,6 хлор-иона и 0,5—1,7 кг натрия. При проведении глубокого рыхления и временного дренажа через 20—30 м (варианты № 4 и 6) в опыте 1 было вынесено 8,6—9,2 кг/м³ токсичных солей; 2,5—2,7 иона хлора и 2,5—3,1 кг/м³ иона натрия, в опыте 2 соответственно 9,4—11,1 кг/м³; 2,7—3,2 и 2,6—3,3 кг/м³.

После промывки произошли существенные изменения в химизме засоления. До капитальной промывки отношение ионов хлора и сульфата составляло 0,32—0,38 в слое почвы 0—100 см, а после опреснения земель — в вариантах № 4 и 6 — 0,04—0,09. Это свидетельствует о том, что более токсичный хлоридно-сульфатный тип засоления перешел в менее токсичный сульфатный тип.

Наибольшее рассоление почвы достигнуто в вариантах, где промывка проводилась на фоне глубокого рыхления и частых временных дрен (20 м). Почвы в вариантах № 4 и 6 при осенне-зимней промывке на фоне глубокого рыхления и частых временных дрен опреснялись до слабой степени засоления, а в тех же вариантах, но при летней промывке — до средней степени засоления. После промывки почвы нормой 15 тыс. м³/га запас солей по плотному остатку в двухметровом слое почвы уменьшился на 20—32%, а токсичных — на 29—43%. Причем при осенне-зимней промывке было вымыто солей на 5—12% больше, чем при летней. Подавляющая часть вымытых солей удалена дренажной водой за пределы промывного участка. В опыте 1 было удалено 58,4—82,5% от общего количества вымытых солей в слое 0—100 см и в опыте 2—61,8—84,3%. В среднем по двум опытам в вариантах с временным дренажем на фоне обычной вспашки из метрового слоя вымывалось больше, чем без дренажа, на 22,3—49,9% плотного остатка и 11,8—65,7% токсичных солей; на фоне глубокого рыхления — соответственно 70—103,6 и 93,7—127%. Глубокое рыхление по сравнению с контролем (вариант № 1) увеличивало вымыв в среднем на 39,3% по плотному остатку и 33,7% по токсичным солям, в сочетании с временным дренажем в зависимости от расстояний — соответственно 86,2—93,6 и 83,2—131,7%.

Содержание гипса в метровом слое почвы до промывки составляло в среднем 23,0—26,5%, а в гипсированном горизонте — 36—38%. После промывки оно снизилось незначительно (на 5—8% от исходного). В 1976—1978 гг. в вариантах № 4, 6, 8 с осенне-зимней и летней промывками изучалась динамика солевого режима почвы под хлопчатником на фоне промывного режима орошения и ежегодной эксплуатационной осенне-зимней промывки нормой 3 тыс. м³/га. Посев хлопчатника на остальных вариантах опытов не проводился, так как почвы на этих вариантах после капитальной промывки остались сильнозасоленными.

В вегетационный период поливы осуществлялись по схеме 1—3—0 при снижении влажности почвы до 70—75% НВ. Поливные нормы составляли 1200—1440 м³/га, оросительные — 5200—

5400 м³/га. Подача такого количества воды превышала дефицит метрового слоя почвы примерно на 30% и обеспечивала нисходящий ток воды, способствующий выносу солей из корнеобитаемого слоя почвы.

Грунтовые воды в период вегетации от весны к осени постепенно снижались. В начале вегетации они залегали на глубине 183—203 см, перед поливами — на глубине 247—264 см и в конце вегетации — 284—298 см. После каждого полива уровень грунтовых вод повышался на 40—50 см, а в межполивные периоды снижался на глубину 45—60 см. В послепромывной период продолжалось постепенное снижение минерализации верхнего слоя грунтовых вод за счет оттока соленых вод закрытыми горизонтальными дренами. Сумма токсичных солей в грунтовых водах по вариантам при этом составила 5,16—5,76 г/л (опыт 1) и 4,24—4,68 г/л (опыт 2). При опреснительном режиме орошения хлопчатника к концу вегетации происходило накопление токсичных солей в грунтовых водах (в пределах 1,5—5,2% от исходного).

В период вегетации 1976—1978 гг. сумма токсичных солей в метровом слое почвы не превышала уровень слабого засоления только в вариантах № 4 и 6, где капитальная промывка проводилась в осенне-зимний период. В варианте № 8 с осенне-зимней капитальной промывкой и на всех вариантах с капитальной промывкой в летний период в первый год освоения почвы оставались среднезасоленными. На второй год освоения среднезасоленными были почвы в вариантах № 6 и 8 с летней промывкой, а на третий год освоения почвы на всех вариантах опреснились до уровня слабого засоления (табл. 82). Таким образом, ежегодные эксплуатационные промывки в сочетании с промывным режимом орошения обеспечивают устойчивое рассоление метрового слоя почвы. Аналогичный эффект опреснительного режима получен в этих же условиях Т. И. Симоновой (1977).

Лучшие варианты по урожайности № 4 и 6 позволили получить в первый год освоения 1,96—2,01 т/га хлопка на фоне осенне-зимней капитальной промывки и 1,54—1,60 т/га на фоне летней промывки (табл. 83). В последующие годы освоения урожайность хлопка-сырца повышалась. В целом на фоне осенне-зимней промывки урожайность хлопка-сырца в первые три года освоения была выше по сравнению с летней на 0,32—0,52 т/га. В опыте в первый год освоения экономический эффект в лучших вариантах составил 560—600 руб./га. В последующие годы условный чистый доход увеличивался благодаря росту урожайности полей.

Таким образом, глубокое рыхление в сочетании с обычной вспашкой является эффективным способом подготовки сильнозасоленных гипсоносных почв к капитальной промывке. Опреснение земель происходит более эффективно при устройстве временного дренажа с расстоянием между дренами 20—30 м на фоне закрытого горизонтального дренажа. Очень важно, что такой комплекс агромелиоративных мероприятий сокращает продолжительность промывки в 1,5—1,8 раза и затраты воды на удаление токсичных

Таблица 82

Влияние эксплуатационной промывки и промывного режима орошения хлопчатника в первые годы освоения на содержание солей в слое почвы 0—100 см, %

Номер варианта	Показатели	1976 г.		1977 г.		1978 г.	
		Весна	Осень	Весна	Осень	Весна	Осень
	Опыт 1 (на фоне летней промывки)						
4	Токсичные соли	0,388	0,349	0,264	0,285	0,241	0,273
	Хлор-ион	0,048	0,036	0,026	0,031	0,024	0,029
	Ион натрия	0,080	0,063	0,037	0,043	0,034	0,041
6	Токсичные соли	0,433	0,390	0,316	0,307	0,266	0,286
	Хлор-ион	0,056	0,043	0,037	0,035	0,027	0,032
	Ион натрия	0,081	0,063	0,053	0,049	0,036	0,044
8	Токсичные соли	0,482	0,431	0,342	0,318	0,277	0,405
	Хлор-ион	0,066	0,052	0,044	0,038	0,030	0,034
	Ион натрия	0,082	0,066	0,066	0,054	0,039	0,049
	Опыт 2 (на фоне осенне-зимней промывки)						
4	Токсичные соли	0,262	0,234	0,212	0,237	0,192	0,228
	Хлор-ион	0,019	0,021	0,016	0,019	0,014	0,017
	Ион натрия	0,026	0,030	0,028	0,030	0,024	0,028
6	Токсичные соли	0,277	0,246	0,226	0,246	0,211	0,236
	Хлор-ион	0,024	0,024	0,021	0,025	0,019	0,023
	Ион натрия	0,039	0,040	0,034	0,034	0,028	0,033
8	Токсичные соли	0,373	0,335	0,249	0,263	0,235	0,251
	Хлор-ион	0,045	0,038	0,024	0,030	0,023	0,028
	Ион натрия	0,072	0,061	0,035	0,038	0,032	0,039

Таблица 83

Урожайность хлопка-сырца по годам освоения

Номер варианта	Опыт 1 (на фоне летней промывки)			Опыт 2 (на фоне осенне-зимней промывки)		
	1976 г.	1977 г.	1978 г.	1976 г.	1977 г.	1978 г.
4	1,60	1,96	2,13	2,01	2,38	2,42
6	1,54	1,65	2,07	1,96	2,26	2,37
8	1,38	1,49	1,82	1,61	2,01	2,19

солей в 1,8—2 раза по сравнению с обычной технологией ее проведения.

Осенне-зимние промывки позволили опреснить более глубокий слой почвы, чем в летние сроки. Это дало возможность в первые же годы получать плановые урожаи хлопка.

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ВНЕСЕНИЯ СТРУКТУРООБРАЗОВАТЕЛЕЙ ПРИ КАПИТАЛЬНОЙ ПРОМЫВКЕ СИЛЬНОЗАСОЛЕННЫХ ТРУДНОМЕЛИОРИРУЕМЫХ ПОЧВ

При удалении солей промывкой в результате воздействия на солевой горизонт химических мелиорантов и структурообразователей резко повышаются фильтрационные свойства почв и эффективность самой промывки, сокращаются ее продолжительность и период освоения земель (Эминов, 1973; Абдуев, Кулиев, 1976; Бобченко, 1981). В целях повышения эффективности капитальных промывок в опыте наряду с навозом использовались также гидролизуемый лигнин и полиакриламид. Компоненты лигнина улучшают физико-химические свойства почв и могут использоваться в качестве органоминерального удобрения. Полиакриламид (ПАА-серия К) является искусственным гидрофильным структурообразователем, обладающим высокими структурообразующими свойствами. В почву он вносился в количестве 0,1% от массы слоя 10 см. Исследования проводились совместно с Н. Ф. Беспаловым и А. Е. Касьяновым в 1978—1981 гг. в совхозе им. Ю. А. Гагарина Сырдарьинской области. Почвы опытного участка сероземно-луговые, относятся к легким суглинкам, характеризуются большими запасами гипса и солей. Гипсовые прослойки залегают с глубины 30 см при содержании гипса от 20 до 40%.

Опыт по изучению приемов повышения эффективности капитальных промывок на фоне временного дренажа проведен по следующей схеме:

1. Промывка почвы на фоне глубокого рыхления (контроль).
2. Промывка на фоне рыхления и внесения навоза (30 т/га).
3. Промывка на фоне рыхления и внесения лигнина (30 т/га).
4. Промывка почвы на фоне рыхления и внесения искусственного структурообразователя — полиакриламида (300 кг/га).

Рыхление проводилось после вспашки на глубину 25 см рыхлителем ГР-2.8. Глубина рыхления составляла 70—80 см. Промывка проводилась на фоне горизонтального дренажа с расстоянием 150 м между дренами. Временные дрены проложены через 30 м. Промывная норма во всех вариантах была одинаковой и составляла 12 тыс. м³/га.

В исходном состоянии, до проведения промывки, коэффициент фильтрации почв не превышал 0,006—0,01 м/сут, а гипсированные слои практически не пропускали воду. Объемная масса почв по слоям до 1,0 м имела колебания от 1,36 до 1,68 г/см³ и в среднем составляла 1,48 г/см³, а в наиболее уплотненных горизонтах 35—80 см она доходила до 1,70 г/см³. Общая порозность в слое 0—100 см в среднем составляла 45%, а в уплотненных — снижалась до 31%, что связано с наличием значительного количества кристаллического гипса. После проведения глубокого рыхления водно-физические свойства почв существенно улучшились, особенно в вариантах № 2—4, где дополнительно вносились полиакриламид, лигнин и навоз. Объемная масса слоя 30—80 см сни-

зилась с 1,6—1,7 до 1,3—1,4 г/см³, а порозность увеличилась до 50—52%. По сравнению с обычной обработкой почвы водопроницаемость за 6 ч при глубоком рыхлении увеличилась в 3,5—4 раза. Внесение лигнина и искусственного структурообразователя (варианты № 2—4) повысило водопроницаемость почв на 10—18% по сравнению с контролем. Агромелиоративные мероприятия способствовали также сокращению продолжительности промывок, что в конечном итоге приводило к снижению затрат промывной воды на испарение (табл. 84).

Таблица 84

Влияние агромелиоративных приемов на продолжительность промывки и потери воды при испарении

Номер варианта	Сроки промывки (начало—конец)	Продолжительность, дни	Испарение, мм	
			всего	% от промывной нормы
1	1.XI—9.I	69	103	8,6
2	4.XI—6.I	63	93	7,8
3	4.01—7.I	64	95	7,9
4	4.XI—9.I	66	98	8,2

Из приведенных данных следует, что при капитальной промывке почвы на фоне частого временного дренажа внесение в почву лигнина и навоза сокращало продолжительность промывки на 7,2—8,7% по сравнению с контролем. Потери промывной воды на испарение при осенне-зимней промывке были невелики (7,8—8,6%). Наибольшая эффективность внесения навоза, лигнина и искусственного структурообразователя при капитальной промывке сказывалась на дренажном стоке и выносе солей с дренажной водой (табл. 85). При внесении в почву навоза и других структурообразователей действие временного дренажа в отводе воды заметно усилилось. В вариантах № 2 и 3 дренажный сток составлял 59,3 и 57,0% от промывной нормы, а в контроле —

Таблица 85

Влияние агромелиоративных приемов при капитальной промывке на сток и вынос солей из временных дрен

Номер варианта	Сток		Модуль стока, л/с/га	Вынос, т/га			
	м³/га	% от промывной нормы		плотного остатка	токсичных солей	хлор-иона	иона натрия
1	6128	51,1	0,958	106,7	82,5	24,4	31,6
2	7119	59,3	1,212	124,5	100,5	32,8	42,3
3	6843	57,0	1,148	120,4	96,2	30,6	39,3
4	6532	54,4	1,068	114,3	89,5	27,8	36,4

51,1%. При тактном проведении промывки разовыми нормами 2000—2500 м³/га дренажный сток постепенно увеличивался и достигал максимума после второго такта. На всех вариантах опыта величина дренажного стока от первой промывки к последней увеличивалась, а минерализация дренажной воды, наоборот, уменьшалась.

Вместе с дренажной водой из почвы усиленно вымывались водно-растворимые соли. Заметно увеличивался вынос солей вместе с дренажным стоком из временных дрен при глубоком рыхлении в сочетании с внесением навоза и лигнина. При этом интенсивность отвода токсичных солей дренажной водой возросла на 16,6—21,8% в сравнении с контролем. Внесение в почву полиакриламида повысило вымыв токсичных солей временным дренажем только на 8,5%, в том числе хлор-иона на 13,9%. В среднем от суммы токсичных солей вымыв хлор-иона составил 30% и натрия — 39%.

В соответствии с динамикой дренажного стока, выносом солей с дренажной водой происходило рассоление почв (табл. 86). Про-

Таблица 86

Изменение содержания солей в почве после капитальной промывки в зависимости от агромелиоративных приемов, %

Номер варианта	Слой почвы, см	До промывки				После промывки			
		Плотный остаток	Сумма токсичных солей	Хлор-ион	Натрий	Плотный остаток	Сумма токсичных солей	Хлор-ион	Натрий
1	0—100	1,925	1,018	0,257	0,335	1,035	0,292	0,029	0,041
	100—200	2,447	1,431	0,407	0,489	2,212	1,245	0,348	0,411
2	0—100	1,947	1,126	0,297	0,419	0,870	0,220	0,019	0,027
	100—200	2,393	1,405	0,359	0,473	2,108	1,196	0,302	0,391
3	0—100	1,961	1,079	0,285	0,392	0,957	0,246	0,024	0,033
	100—200	2,397	1,432	0,375	0,491	2,142	1,224	0,316	0,407
4	0—100	1,910	1,042	0,271	0,370	0,963	0,258	0,026	0,035
	100—200	2,419	1,437	0,392	0,492	2,176	1,237	0,332	0,410

мывка очень сильнозасоленных почв нормой 12 тыс. м³/га на фоне временного дренажа через 30 м в сочетании с глубоким рыхлением обеспечила рассоление метрового слоя почвы до уровня слабого засоления. Содержание токсичных солей в слое почвы 0—100 см составляло 0,292%, в том числе хлор-иона — 0,029%. Промывной эффект заметно усиливался при сочетании глубокого рыхления, действия временных дрен с внесением в почву 30 т/га навоза. Содержание токсичных солей после промывки было ниже контроля на 24,7%, а хлор-иона и натрия — на 34,2—34,5%. Промывка на фоне глубокого рыхления, временных дрен и внесения лигнина также существенно повысила вымыв солей по сравнению

с контролем (глубокое рыхление и временный дренаж), из метрового слоя было вымыто 77,2% токсичных солей и 91.6% хлор-иона и натрия. Остаточное содержание токсичных солей (0,246%) было меньше, чем в контроле на 16%. Внесение в почву 300 кг/га полиакриламида способствовало повышению нисходящих солевых токов, по сравнению с контролем снижение токсичных солей составило 12%.

Таким образом, внесение в почву навоза, лигнина и искусственного структурообразователя (ПАА) на фоне глубокого рыхления и временных дрен способствует повышению эффективности вымыва токсичных солей из метрового слоя почвы на 12—25%. Во втором метре снижение содержания солей после промывки по вариантам опыта было невелико: 15—17,5% токсичных солей, 17—19% хлор-иона и 19—21% натрия. В вариантах № 2 и 3, где промывка проводилась на фоне глубокого рыхления, временных дрен и внесения в почву навоза или лигнина из расчета 30 кг/га получены и наименьшие удельные затраты промывной воды (табл. 87). В этих вариантах из слоя почвы 0—100 см 1 м³ промывной воды вымывалось 10,2—11,1 кг токсичных солей; 3,2—3,4 кг хлор-иона и 4,4—4,8 кг натрия. По сравнению с контролем 1 м³ воды вымывалось больше на 15—25% токсичных солей и 14,3—21,4% хлор-иона, а при использовании в качестве структурообразователя полиакриламида (вариант № 4) — 7,9 и 7,2% соответственно.

Таблица 87

Вымыв солей из слоя почвы 0—100 см при капитальной промывке в зависимости от агромелиоративных приемов

Номер варианта	Вымыто солей, % от массы				Вымыто солей 1 м³ воды, кг			
	плотного остатка	токсичных солей	хлор-иона	натрия	плотного остатка	токсичных солей	хлор-иона	натрия
1	0,890	0,726	0,226	0,294	10,9	8,9	2,8	3,6
2	1,077	0,906	0,278	0,392	13,2	11,1	3,4	4,8
3	1,004	0,833	0,261	0,359	12,3	10,2	3,2	4,4
4	0,947	0,784	0,245	0,335	11,6	9,6	3,0	4,1

Немаловажную роль в выщелачивании солей из метрового слоя почвы играет временный дренаж (табл. 88). При этом из почвы преимущественно вымывались токсичные соли (81,6—84,1%) вследствие более высокой их растворимости. От общего вымыва солей из метрового слоя временным дренажем было удалено 75,5—77,8% токсичных солей и 72,8—80,2% хлор-иона. Наибольшее количество хлор-иона (80,2, или 40,9 т/га) было удалено временным дренажем при внесении в почву навоза на фоне глубокого рыхления и временных дрен (вариант № 2).

Следует отметить, что на фоне различных агромелиоративных приемов существенных изменений в содержании гипса при про-

Таблица 88

Вымыв солей временным дренажем из слоя почвы 0—100 см

Номер варианта	Плотный остаток		Токсичные соли		Хлор-ион		Натрий	
	вымыто, т/га	удалено временным дренажем, %	вымыто, т/га	удалено временным дренажем, %	вымыто, т/га	удалено временным дренажем, %	вымыто, т/га	удалено временным дренажем, %
1	130,8	81,6	106,7	77,3	33,5	72,8	43,2	73,1
2	158,3	78,6	133,2	75,5	40,9	80,2	57,6	73,4
3	147,6	81,6	122,5	78,5	38,4	79,7	52,8	74,4
4	139,2	82,1	115,2	77,7	36,0	77,2	49,2	74,0

мывке почвы не произошло. В метровом слое вымыв гипса составил не более 5—7% от исходного. Капитальная промывка обеспечила не только рассоление корнеобитаемого слоя почвы, но и существенное опреснение грунтовых вод. Если до промывки минерализация грунтовых вод составляла 12,8 г/л по плотному остатку (в том числе 9,7 г/л по сумме токсичных солей), то после промывки нормой 12 тыс. м³/га она снизилась до 8,9—9,6 и 4,9—6,1 г/л соответственно по плотному остатку и сумме токсичных солей.

В первые годы освоения (1979—1981 гг.) после капитальной промывки на опытном участке возделывали хлопчатник. Под посевы 1980 и 1981 гг. проводилась эксплуатационная осенне-зимняя промывка нормой 3000 м³/га. В период вегетации поддерживался промывной режим орошения. Оросительная норма составляла 5500 м³/га и распределялась по схеме 1—3—0. Грунтовые воды в период вегетации поддерживались закрытым дренажем на глубине 2,2—3,1 м. Минерализация грунтовых вод постепенно снижалась за счет оттока соленых вод в закрытый дренаж. Сумма токсичных солей в грунтовых водах изменялась в пределах 4,3—6,0 г/л.

Влажность метрового слоя почвы на период посева по вариантам не имела различий и соответствовала наименьшей влагоемкости (23,8—24,3% от массы). Перед поливами влажность в расчетном слое поддерживалась на уровне 70—75% НВ. К уборке хлопчатника она снижалась до 57—65% НВ. Наиболее высокая влажность почвы была зафиксирована на контроле, а самая низкая — при внесении в почву навоза, способствующего повышению водопотребления хлопкового поля.

На фоне эксплуатационной промывки и промывного режима орошения происходило дальнейшее рассоление почв, и в вегетационные периоды складывался благоприятный солевой режим (табл. 89). В годы исследований наиболее опресненными остава-

Таблица 89

Влияние промывного режима и эксплуатационных промывок на содержание солей в слое почвы 0—100 см

Номер варианта	Весна				Осень			
	Плотный остаток	Токсичные соли	Хлор-ион	Натрий	Плотный остаток	Токсичные соли	Хлор-ион	Натрий
1979 г. (первый год освоения)								
1	1,026	0,287	0,028	0,041	1,118	0,310	0,034	0,051
2	0,879	0,223	0,019	0,028	1,002	0,256	0,024	0,036
3	0,952	0,244	0,024	0,033	1,075	0,276	0,030	0,042
4	0,960	0,256	0,026	0,035	1,066	0,282	0,032	0,045
1980 г. (второй год освоения)								
1	0,866	0,247	0,021	0,029	1,004	0,279	0,026	0,038
2	0,734	0,185	0,014	0,021	0,866	0,216	0,018	0,027
3	0,801	0,198	0,018	0,024	0,937	0,232	0,023	0,031
4	0,807	0,215	0,020	0,026	0,941	0,247	0,025	0,033
1981 г. (третий год освоения)								
1	0,846	0,225	0,019	0,028	0,965	0,252	0,024	0,036
2	0,719	0,166	0,014	0,020	0,834	0,191	0,017	0,026
3	0,768	0,191	0,017	0,022	0,891	0,218	0,022	0,029
4	0,815	0,207	0,018	0,025	0,937	0,234	0,023	0,032

лись почвы на фоне глубокого рыхления и внесения в почву навоза или лигнина (варианты № 2 и 3). По сравнению с вариантом № 1 содержание токсичных солей было меньше на 11—24% и хлор-иона — на 10—30%. При внесении в почву полиакриламида сумма токсичных солей снижалась по сравнению с контролем на 8—11%. На фоне глубокого рыхления и временного дренажа без внесения в почву структурообразователя (контроль) только в первый год освоения к концу вегетации произошло накопление токсичных солей и хлор-иона в слое почвы 0—100 см до уровня среднего засоления (0,310 и 0,034% соответственно). Однако содержание иона натрия не превышало уровень слабого засоления. В другие годы здесь происходило снижение содержания солей, и метровый слой почвы оставался слабозасоленным. На третий год освоения содержание токсичных солей в слое почвы 0—100 см составляло 0,225 и 0,252% соответственно весной и осенью. В варианте № 2, где в почву вносили навоз, содержание токсичных солей на третий год освоения снизилось до 0,166% весной и 0,191% осенью, а содержание хлор-иона было менее 0,02%. Сезонное соленакопление по плотному остатку и сумме токсичных

солей составляло 8—18%, а по хлор-иону и натрию достигало 22—33%. Полученные данные свидетельствуют о том, что рассоляющий эффект капитальной промывки при внесении в почву структурообразователей закрепляется в последующие годы освоения.

Продуктивность земель в годы освоения в значительной мере зависела от фона агромелиоративных мероприятий, на котором проводилась капитальная промывка. Полученные данные по урожайности (табл. 90) показали, что на фоне осенне-зимней промывки почвы и внесении в почву 30 т/га навоза или лигнина урожай хлопка-сырца в первый год освоения повышался по сравнению с контролем на 0,32—0,41 т/га, или на 16,3—25,4%. При внесении в почву 300 кг/га полиакриламида урожайность хлопка-сырца была выше контроля на 0,25 т/га, или 12,8%. В последующие годы по мере опреснения почв происходил дальнейший рост урожайности (в среднем по опыту на 0,06—0,2 т/га). Причем прибавка урожая от применения структурообразователей (особенно навоза) оставалась существенной.

Таблица 90

Урожайность хлопка-сырца в зависимости от агромелиоративных приемов повышения эффективности капитальной промывки, т/га

Номер варианта	Вариант опыта	1979 г.	1980 г.	1981 г.	Среднее
1 (контроль)	Рыхление на 70 см+временный дренаж через 30 м	1,96	2,25	2,31	2,17
2	То же+внесение в почву 30 т/га навоза	2,37	2,54	2,57	2,49
3	То же, что в варианте № 1+внесение в почву 30 т/га лигнина	2,28	2,47	2,52	2,42
4	То же, что в варианте № 1+внесение в почву 300 кг/га полиакриламида	2,31	2,39	2,46	2,35

ВЛИЯНИЕ РАЗЛИЧНЫХ СХЕМ МЕЛИОРАТИВНОГО РЫХЛЕНИЯ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРОМЫВКИ ГИПСОНОСНЫХ ПОЧВ

Проведение сплошного глубокого мелиоративного рыхления почв перед капитальной промывкой сопряжено с большими затратами труда и средств. Одним из способов снижения затрат является полосовое рыхление (Касьянов, Шуравилин, 1982 а, б). Оно обеспечивает снижение затрат на рыхление на 50% по сравнению со способом сплошного рыхления. Высокая эффективность

этого способа рыхления может быть получена на землях с небольшой мощностью гипсированных линзообразных прослоек. В зависимости от физических свойств почв и их изменений по профилю можно выделить две различные расчетные схемы рассоления при полосовом рыхлении. Первая расчетная схема: метровый слой почвогрунта однороден, уплотнен, тяжелого механического состава, в профиле отсутствует гипсоносный слой, характеризуется низким коэффициентом фильтрации. Полосовое рыхление выполнено перпендикулярно горизонтальным дренам. Водно-физические параметры рыхленного и нерыхленного грунта существенно отличаются. Таким образом, необходимо рассмотреть процесс рассоления чередующихся по длине дрен полос рыхленного и нерыхленного грунта. В настоящее время неизвестно теоретическое описание процесса рассоления при таких условиях. В частности, здесь не применима теория рассоления слоистых грунтов, слои которых расположены горизонтально, а не вертикально.

При рассолении засоленных грунтов в данном случае происходит насыщение водой как рыхленных, так и нерыхленных полос грунта, а затем движение влаги и вымыв солей в этих полосах. Ясно, что в рыхленных полосах эти этапы будут проходить значительно быстрее, нежели в нерыхленных. Учитывая, что скорость рассоления зависит от скорости движения фильтрующейся влаги, можно оценить интенсивность промывки рыхленных и нерыхленных полос грунта. Скорость движения влаги при полном насыщении грунта описывается уравнением Дарси

$$V = -K_{\phi} \cdot \frac{dH}{dS}, \qquad (15)$$

где H — потеря напора; S — участок фильтрационного пути, или длины линии тока; K_{ϕ} — коэффициент фильтрации вдоль линии тока на участке ΔS.

В том случае, если K_{ϕ} постоянен по всей длине линии тока, выражение (15) можно переписать

$$V = -K_{\phi} \cdot H/S, \qquad (16)$$

где $H = d + h$ (d — глубина дрены, h — слой воды на поверхности почвы), S — фильтрационный путь от поверхности до дрены.

Из уравнения (16) видно, что скорость рассоления участков рыхленных и нерыхленных полос, расположенных на одинаковом расстоянии от дрен, будет отличаться как отношение коэффициентов фильтрации рыхленного и нерыхленного грунта. Промывку обычно проводят тактами. После подачи заданного объема воды в конце такта на поверхности участка слой воды будет отсутствовать. В этот момент помимо потока фильтрующейся воды в нерыхленных полосах будет наблюдаться ее движение в направлении дрен, а в рыхленных — перпендикулярно к оси полосы. Последнее объясняется тем, что уровень промывных вод в рыхленных полосах понижается значительно быстрее, чем в нерыхлен-

ных. Поэтому по обеим сторонам нерыхленных полос будут наблюдаться градиенты напоров, что и обусловит появление потоков воды в направлении этих градиентов. Скорость потока воды определяется также по уравнению Дарси

$$V_1 = -K_\phi \cdot \frac{y_1 - y}{\alpha \cdot l}, \qquad (17)$$

где V_1 — скорость движения воды в направлении, перпендикулярном оси дрен; K_ϕ — коэффициент фильтрации нерыхленного грунта; l — половина ширины нерыхленной полосы; α — коэффициент, определяемый по гидродинамической сетке движения; y_1 — уровень воды на нерыхленной полосе, на расстоянии L от дрены; y — уровень воды на рыхленной полосе, на расстоянии L от дрены.

Увеличение скорости V_1 будет способствовать повышению интенсивности рассоления грунтов нерыхленной полосы. Из уравнения (17) видно, что она будет больше с увеличением $y_1 - y$, которая пропорциональна отношению коэффициентов фильтрации грунтов рыхленной и нерыхленной полос. Таким образом, появление скорости V_1 сглаживает различия в скорости промывки грунтов рыхленной и нерыхленной полос. Чтобы этот эффект проявлялся сильнее, необходимо увеличивать число тактов подачи воды при промывке. Величины V_1 легко рассчитать, используя известные формулы для определения. В том случае, если полосовое рыхление выполнено в направлении дрен, движение фильтрационного потока воды будет осуществляться поочередно в слоях рыхленного и нерыхленного грунта. Скорость движения вдоль выделенной линии тока, как и раньше, определяется по формуле Дарси, однако составляющие ее будут существенно отличаться от рассмотренных ранее.

Пусть участок S_i линии тока пересекает слой рыхленного грунта. Тогда скорость фильтрационного потока на этом участке будет равна

$$V_1 = -K_{pi} \frac{\Delta h_i}{\Delta S_i},$$

где K_{pi} — коэффициент фильтрации рыхленного грунта; Δh_i — потеря напора на рыхленном грунте; ΔS_i — длина дуги линий тока в рыхленном грунте.

Аналогично запишется выражение скорости фильтрационного потока и в нерыхленном грунте. Учитывая, что из условия неразрывности скорости вдоль всей линии тока постоянны и равны V_1, получим

$$V = \frac{H}{\sum_i \frac{\Delta S_i}{K_{pi}} + \sum_j \frac{\Delta S_j}{K_{nj}}}, \qquad (19)$$

где $i = j = n$ — число полос на половине междренного расстояния, которое равно $n = L/l$, где L — половина расстояния между дре-

нами; l — ширина рыхленной полосы; $H=d+h$ напор (d — глубина заложения дрены, h — слой воды на поверхности участка). Величина ΔS зависит от расстояния до дрены и гидрогеологических условий. Запишем $\Delta S=f(x)$, где x — расстояние до дрены. Тогда (19) перепишем в виде

$$V=\frac{H}{\sum_i \frac{f(x)_i}{K_{pi}}+\sum_j \frac{f(x)_j}{K_{nj}}}. \qquad (20)$$

Введем отношение $K_{pi} / K_{nj} = \beta_i$, показывающее, во сколько раз коэффициент фильтрации рыхленного грунта больше коэффициента фильтрации нерыхленного грунта. С учетом этого выражение (20) перепишем в виде

$$V=K_{pi}\cdot\frac{H}{\Sigma f(x)_i+\frac{K_{nj}}{\beta}\Sigma f(x)_j}. \qquad (21)$$

Из выражения (21) видно, что движение фильтрационного потока, а следовательно, и рассоление грунтов будет тем больше, чем выше коэффициент фильтрации рыхленного грунта и больше число полос рыхления H.

Принципиально отличается от рассмотренных ранее случаев процесс рассоления засоленных земель при наличии водонепроницаемого гипсоносного слоя. Без глубокого мелиоративного рыхления процесс рассоления на фоне постоянного горизонтального дренажа будет осуществляться следующим образом. После укладки дренажа вдоль оси траншеи гипсоносный горизонт будет разрушен. В этом случае обратная засыпка траншеи играет роль закрытого собирателя, который с высоким сопротивлением фильтрационному потоку перехватывает и отводит воду из слоя грунта, лежащего выше гипсоносного горизонта. Воспользуемся уравнениями С. Ф. Аверьянова с некоторыми допущениями, применимыми для данного случая:

$$t=\frac{\mu\cdot B\cdot \operatorname{arctg} x}{3\sqrt{K_1(e+q_2)}},$$

$$X=\frac{2h_1\sqrt{K_1}}{B\sqrt{e+q_2}}, \qquad q_2=\frac{4K_2h_2}{B^2}, \qquad (22)$$

где B — расстояние между дренами; q_2 — интенсивность поступления воды в закрытый собиратель; K_1 и K_2 — коэффициент фильтрации соответственно слоя грунта над гипсоносным горизонтом и под ним, $h_2=d-h$ (d — глубина заложения дренажа); h — глубина положения гипсоносного горизонта; μ — коэффициент водоотдачи слоя грунта над гипсоносным горизонтом; e — интенсивность испарения; t — время отвода фильтрационных вод из слоя грунта выше гипсоносного горизонта.

Величины коэффициентов K_1 и K_2 обычно отличаются незначительно. При проведении полосового рыхления разрушается гип-

соносный слой и оставшиеся участки этого слоя не оказывают влияния на гидродинамическую сетку движения грунтовых вод к дренам. Тогда время понижения грунтовых зод до заданного положения (t_p) можно определить по формуле

$$t_p = \frac{\varphi \cdot \mu \cdot B^2}{4K} \cdot \left(\frac{1}{H_2} - \frac{1}{H_1} \right), \qquad (23)$$

где φ — параметр, характеризующий форму кривой депрессии; μ — водоотдача; $K = K_1 = K_2$ — коэффициенты фильтрации грунта; $H_1 = d$ — глубина заложения дренажа, $H_2 = d - h$.

Повышение интенсивности рассоления при глубоком рыхлении по сравнению с рассолением без него определим по формуле

$$t/t_p = \frac{\mu \cdot B \cdot \operatorname{arctg} x}{3\sqrt{K_1 (e + q_2)}} \cdot \frac{4K}{\varphi \mu B^2 \cdot \left(\frac{1}{H_2} - \frac{1}{H_1} \right)} =$$

$$= \frac{4 \operatorname{arctg} x \sqrt{K}}{3\varphi \sqrt{(e + q_2)} \cdot B \left(\frac{1}{H_2} - \frac{1}{H_1} \right)}. \qquad (24)$$

Анализ выражения (24) показывает, что интенсивность рассоления будет тем больше, чем меньше расстояние между дренами и выше коэффициент фильтрации грунта. Выполненные проработки являются весьма грубыми моделями описываемого процесса рассоления с применением рациональных схем рыхления.

Согласно другому способу промывки засоленных почв рыхление выполняют переменной глубиной, при этом глубина рыхления увеличивается в направлении от дрены к средней части междренного расстояния в соответствии с выражением

$$H_{p.x} = H_{p.l} \cdot e^{a(x-l)}, \qquad (25)$$

где $H_{p.x}$, $H_{p.l}$ — глубина рыхления соответственно на расстоянии x и l от дрены, м; e — основание натурального логарифма; a — эмпирический коэффициент, зависящий от гидрогеологических условий участка и параметров дренажа; x — координата, отсчитываемая по горизонтальной оси x, направленной перпендикулярно оси дрены, м; l — половина расстояния между дренами, м.

Предлагаемая зависимость получена из следующих рассуждений. Выделим элементарный объем грунта с координатами $x, \frac{H_{p.x}}{2}$. В первом приближении уменьшение концентрации солей в этом объеме при промывке можно описать выражением вида

$$M_x \left(\frac{dC}{dt} \right)_x = D \left(\frac{\partial^2 C}{\partial S^2} \right)_x - V_{ф.x} \left(\frac{\partial C}{\partial S} \right)_x, \qquad (26)$$

где M_x — пористость; C — концентрация солей в поровой влаге; t — время; D — коэффициент диффузии; S_x — координата, отсчи-

тываемая от поверхности вдоль линии тока, проходящей через элементарный объем $x\frac{H_{p.x}}{2}$; $V_{ф.x}$ — скорость фильтрации в направлении линии тока. Величина $V_{ф.x}$ определяется из следующего выражения:

$$V_{ф.x} = -K_{ф.x}\left(\frac{\partial h}{\partial x}\right)_x, \tag{27}$$

где $K_{ф.x}$ — коэффициент фильтрации; h — потеря напора вдоль линии тока S_x. Предположим, что на линии тока S_x выполняется равенство $\frac{\partial C}{\partial S} = \text{const} = A$, тогда выражение (26) с учетом (27) примет вид

$$V_{с.x} = \frac{K_{ф.x} \cdot A}{M_x}\left(\frac{\partial h}{\partial S}\right)_x, \tag{28}$$

где $V_{с.x}$ — скорость рассоления. Проинтегрируем выражение (28) по h и S

$$V_{с.x} = \frac{K_{ф.x} \cdot S_x}{M_x \cdot H}, \tag{29}$$

где S_x — длина линии тока, проходящей через элементарный объем грунта с координатами x_2; $\frac{H_p}{2}$; H — напор над дреной. Найдем условия равенства скоростей рассоления в элементарных объемах, расположенных на глубине $\frac{H_p}{2}$, над дреной ($x=0$) и на расстоянии x от дрены:

$$\frac{V_{с.x_0}}{V_{с.x}} = \frac{K_{ф_6} \cdot A \cdot S_0 \cdot M_x \cdot H_x}{M_0 \cdot H_0 \cdot K_{ф.x} \cdot S_x \cdot A} = 1. \tag{30}$$

Тогда $S_0 = d$, где d — глубина заложения дрены, обозначим $K_{ф_6} = n_0$; $K_{ф.x} = n_x$. Получим из (30)

$$n_x = n_0 \cdot \frac{S_x}{d}. \tag{31}$$

Анализ гидродинамических сеток движения воды показывает, что

$$S_x = d \cdot e^{\alpha x}. \tag{32}$$

Подставим (32) в (31) и получим

$$n_x = n_0 \cdot e^{\alpha}. \tag{33}$$

Пусть справедлива зависимость

$$n_x = \lambda \cdot H_{p.x}, \tag{34}$$

где λ — коэффициент, численно равный n_x при $H_p = 1$; H_p — глубина рыхления на расстоянии 0 от оси дрены.

Представим в (34) значения n_x и n_0

$$H_{р.x} = H_{р.0} \cdot e^{ax}, \quad (35)$$

где $H_{р.0}$ — глубина рыхления почвы над дреной ($x=0$).
Найдем $H_{р.0}$ (из 35)

$$H_{р.0} = \frac{H_р}{e^{al}}, \quad (36)$$

где $H_р$ — глубина рыхления почвы на расстоянии x от оси дрены. Подставим (36) в (35) и получим

$$H_{р.x} = H_{р.l} \cdot e^{a(x-l)}. \quad (37)$$

На практике $H_{р.l}$ принимают равной H_{max}, где H_{max} — максимальная глубина рыхления, определяемая технико-эксплуатационными параметрами рыхлящего орудия.

Выполненный теоретический анализ особенностей динамики солей при промывке позволяет рекомендовать полосовую схему и рыхление переменной глубиной (увеличивающейся в направлении от дрены к середине междренья) при наличии линзовых гипсоносных прослоек, что снизит затраты труда и промывной воды. Опытная проверка различных схем мелиоративного рыхления с целью снижения затрат на рыхление мелиорируемого массива за счет исключения рыхления участков вблизи дрен и проведения полосового рыхления была проведена в совхозе им. Е. Е. Алексеевского в 1978—1984 гг. совместно с А. Е. Касьяновым.

Почвы опытного участка характеризуются большими запасами солей и гипса, который встречается в различных формах. В пахотном слое гипс представлен в виде прослоек, а ниже до 0,8 м встречаются горизонты, сложенные чечевицеобразными скоплениями с малой водопроницаемостью. Исследования проводились на фоне действия глубокого закрытого горизонтального дренажа и временных открытых дрен глубиной 1 м с междренным расстоянием 30 м.

Опыт по изучению влияния полосового рыхления гипсоносных почв на эффективность капитальной промывки был заложен по следующей схеме: расстояние между рыхлящими органами — 60, 90 и 120 см соответственно вариантам № 2, 3 и 4. В варианте № 1 рыхление почв не проводилось (контроль). Перед рыхлением была проведена вспашка на глубину 25 см. В вариантах № 2, 3 и 4 рыхление выполнялось на глубину 70 см с помощью рыхлителя.

Промывная норма во всех вариантах была одинаковой и составляла 15 тыс. м³/га. В промывные чеки вода подавалась дробно с разовой нормой 2—3,5 тыс. м³/га. Разрыв между тактами (после впитывания воды в чеках) составлял 2—4 дня. Промывка проводилась в осенне-зимний период 1978/79 г. Почва сероземно-луговая, очень сильно засоленная, слоистая. Сверху залегают средние и легкие суглинки, которые переслаиваются книзу супесями и песками. В естественном сложении объемная масса

уплотненного гипсового горизонта (30—60 см) составляет 1,65 — 1,72 г/см³. Скорость впитывания (за первый час) и фильтрации с поверхности соответственно равнялась 1,3 см и 0,014 м/сут, с глубины 40 см — 0,11 см и 0,003 м/сут.

Проведение глубокого рыхления резко улучшило водно-физические свойства почвы. При расстоянии между стойками рыхлителя 0,60—0,75 м происходило объемное рыхление по всей площади. В гипсоносном слое объемная масса снизилась в среднем на 9,4—10,9% (до 1,52—1,54 г/см³). Коэффициент фильтрации с поверхности увеличился в 4,5 раза по сравнению с показателями до рыхления, а в гипсоносном горизонте еще больше. С увеличением расстояния между рыхлителями влияние рыхления на изменение водно-физических свойств почвы снижается. Так, при рыхлении через 0,9 м объемная масса гипсоносного горизонта снизилась до 1,58, а через 1,2 м — до 1,64 г/см³. Коэффициент фильтрации по сравнению с рыхлением через 0,6 м уменьшился соответственно на 11 и 38%. В опыте отчетливо проявляется положительное влияние объемного рыхления (расстояние между рыхлителями 0,6—0,75 м) на основные показатели промывок (табл. 91).

Таблица 91

Основные показатели промывок

Показатель	Номер варианта			
	1	2	3	4
Фактическая продолжительность промывки, сут	102	61	69	78
Водоподача, м³/га	15300	15200	15200	15300
Атмосферные осадки, м³/га	920	660	690	840
Испарение, м³/га	1590	1190	1240	1490
Фактическая промывная норма, м³/га	14630	14670	14650	14650

По сравнению с контролем рыхление позволило сократить общую продолжительность промывки на 41, 33 и 24 сут соответственно в вариантах № 2, 3 и 4. Увеличение продолжительности промывки за счет снижения полноты и равномерности рыхления привело к возрастанию количества испарившейся воды с поверхности чека на 300—400 м³/га, или на 25—33,6%. Следует отметить, что часть испарившейся влаги компенсировалась выпавшими осадками в период промывки, особенно при большой ее продолжительности. Вследствие этого фактическая промывная норма по вариантам была примерно одинаковой. Однако впитывание воды существенно снижалось по мере уменьшения плотности рыхления. Так, при рыхлении через 0,9 и 1,2 м снижение соответственно составило 11 и 21% по сравнению с рыхлением через 0,6 м. Все это указывает на необходимость проведения сплошного рыхления.

Повышение плотности рыхления способствовало увеличению дренажного стока и выноса солей временными дренами вследствие увеличения потока влаги к дренам (табл. 92). Отмечено, что при рыхлении через 0,6 м сток из временных дрен был больше на 7,4% по сравнению с рыхлением через 0,9 м и на 19,6% — через 1,2 м. В контроле (без глубокого рыхления) сток из временных дрен был меньше на 26—57%. При этом вынос солей из временных дрен за счет снижения полноты рыхления в вариантах № 3 и 4 снизился соответственно на 10,6 и 23,2%. В целом по сравнению с контролем вынос токсичных солей при рыхлении возрастал на 33,6—82,9%. Увеличение ширины рыхления в 2 раза (с 0,6 до 1,2 м) приводило к снижению выноса токсичных солей на 22,7 т/га, или на 26,9%, хлор-иона — на 5,1 т/га, или на 21,5%, и натрия — на 5,3 т/га, или на 17,9%.

Таблица 92

Влияние плотности рыхления на сток и вынос солей временными дренами

Номер варианта	Дренажный сток		Модуль дренажного стока, л/с/га	Вынос солей, т/га			
	м³/га	% от промывной нормы		плотного остатка	токсичных солей	хлор-иона	натрия
1	5346	36,6	0,563	70,6	46,1	10,2	13,3
2	8435	57,5	1,175	114,7	84,3	23,7	29,6
3	7812	53,3	1,039	102,6	72,8	21,9	27,8
4	6780	46,3	0,817	88,1	61,6	18,6	24,3

Аналогичные закономерности снижения эффекта промывки при увеличении ширины нерыхленной полосы наблюдались и в вымыве солей из почвогрунта (табл. 93, рис. 37). В варианте № 2, где рыхление проведено через 0.6 м, метровый слой почвы рассолился до требуемых пределов. Содержание хлор-иона снизилось до 0,021%, натрия — до 0,034% и токсичных солей — до 0,232% от массы, или на 75.7% от исходного. При рыхлении почвы через 0,9 м (вариант № 3) принятая норма промывки (15 тыс. м³/га) не обеспечивала нужного опреснения метрового слоя почвы вследствие снижения плотности рыхления. Вымыв токсичных солей, хотя и составил 67,1% от исходного, однако остаточное количество их превышало уровень слабого засоления. По содержанию ионов хлора и натрия почвы оставались среднезасоленными. Дальнейшее уменьшение плотности рыхления (через 1,2 м) значительно снижало эффективность промывки. Метровый слой почвы был опреснен только до уровня среднего засоления как по сумме токсичных солей, так и по ионам хлора и натрия. В контроле на нерыхленном участке почва оставалась

Таблица 93

Изменение содержания солей в почве после капитальной промывки в зависимости от плотности рыхления, %

Слой почвы, см	До промывки				После промывки			
	Плотный остаток	Сумма токсичных солей	Хлор-ион	Натрий	Плотный остаток	Сумма токсичных солей	Хлор-ион	Натрий
Вариант № 1								
0—100	1,831	0,934	0,237	0,292	1,291	0,663	0,118	0,153
100—200	2,234	1,184	0,324	0,437	1,764	0,962	0,259	0,348
Вариант № 2								
0—100	1,835	0,954	0,211	0,278	0,886	0,232	0,021	0,034
100—200	2,241	1,165	0,336	0,426	1,882	1,016	0,272	0,347
Вариант № 3								
0—100	1,876	0,947	0,233	0,296	0,968	0,312	0,039	0,051
100—200	2,268	1,201	0,329	0,429	1,863	1,020	0,265	0,345
Вариант № 4								
0—100	1,852	0,963	0,224	0,283	1,004	0,417	0,058	0,076
100—200	2,255	1,173	0,327	0,416	1,804	0,974	0,258	0,328

сильнозасоленной. Следовательно, только при проведении объемного рыхления на всей площади (через 0,6 м) достигается наибольший эффект промывки гипсоносных почв. При этом из метрового слоя почвы 1 м³ промывной воды при норме 15 тыс. м³/га вымывалось 9,4 кг солей, в том числе 7,2 кг токсичных.

В процессе освоения земель под хлопчатник происходило дальнейшее улучшение водно-солевого режима почвы на фоне промывного режима орошения в вегетационный период и эксплуатационных промывок. Ежегодно (1979—1981 гг.) поливы проводились по схеме 1—3—0 при оросительной норме 5200—5500 м³/га. Под урожай 1980 и 1981 гг. норма эксплуатационной промывки составляла 3000 м³/га. На этом фоне влажность активного слоя почвы поддерживалась в оптимальных пределах. В варианте № 2, где гипсовый горизонт был разрыхлен по всей площади, запасы продуктивности влаги были несколько выше. На нерыхленной части участка (вариант № 1) иссушение происходило в основном в верхнем надгипсовом горизонте, а в нижних слоях влажность почвы мало изменялась. Существенное опреснение почв в первые годы освоения отмечалось на фоне последействия рыхления через 0,6 м (табл. 94).

В первый год освоения почва в варианте № 2 по содержанию токсичных солей, ионов хлора и натрия оставалась слабозасолен-

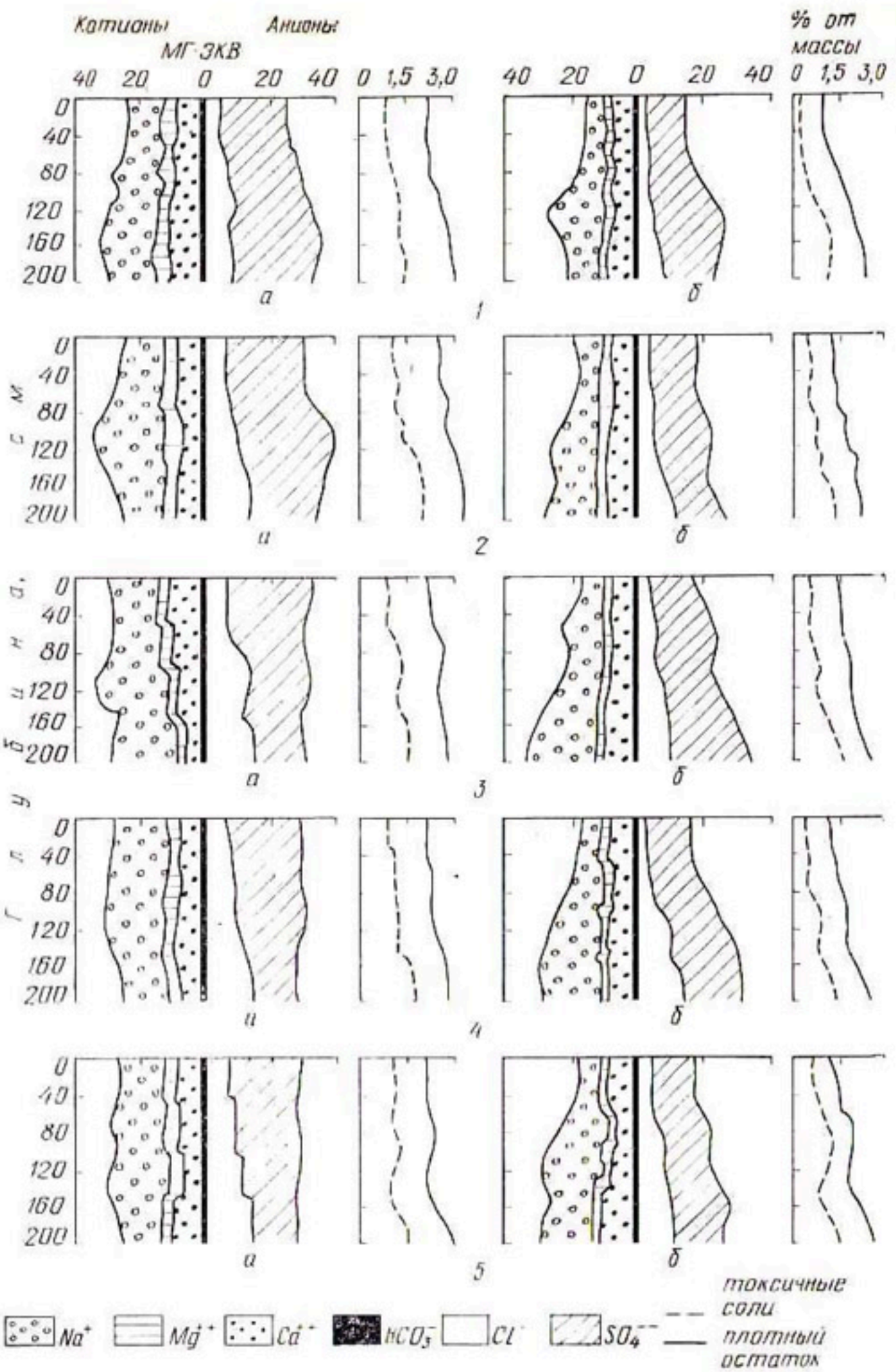


Рис. 37. Изменение засоленности почвогрунтов в зависимости от полноты рыхления при промывках:

а — до промывки; *б* — после промывки; *1* — рыхление через 0,6 м, *2* — рыхление через 0,9 м, *3* — рыхление через 1,2 м, *4* — рыхление через 0,75 м, *5* — без рыхления (контроль)

Таблица 94

Влияние промывного режима орошения и эксплуатационных промывок на содержание солей в метровом слое почвы, %

Номер варианта	Весна				Осень			
	Плотный остаток	Токсичные соли	Хлор-ион	Натрий	Плотный остаток	Токсичные соли	Хлор-ион	Натрий
	1979 г. (первый год освоения)							
1	1,242	0,649	0,118	0,155	1,186	0,582	0,103	0,134
2	0,862	0,224	0,020	0,032	0,888	0,237	0,031	0,038
3	0,953	0,305	0,036	0,047	0,996	0,319	0,040	0,054
4	0,988	0,406	0,051	0,068	1,023	0,423	0,055	0,073
	1981 г. (третий год освоения)							
1	0,746	0,329	0,067	0,086	0,795	0,348	0,081	0,101
2	0,659	0,156	0,011	0,019	0,702	0,198	0,018	0,034
3	0,692	0,201	0,018	0,026	0,743	0,234	0,026	0,038
4	0,707	0,269	0,026	0,035	0,791	0,305	0,033	0,042

ной. В вариантах с меньшей полнотой рыхления почвы были средне- и даже сильнозасоленными. Содержание хлора и натрия в 2—3 раза превышало пределы солеустойчивости хлопчатника. За вегетационный период во всех вариантах с рыхлением происходило накопление солей в корнеобитаемом слое почвы плотного остатка 2—5%, токсичных солей — 4—6%, хлора и натрия — 7—20%. Однако это не сказалось существенно на степени засоления почв. При более высоком содержании солей в почве (контроль) на фоне промывного режима орошения динамика солей была иной. Вместо сезонного засоления почв наметился процесс рассоления их.

При проведении эксплуатационных промывок в последующие 2 года происходило существенное рассоление почв и на фоне последействия других схем рыхления, несмотря на то что отмечалась сезонная реставрация солей. Во второй год освоения содержание солей в метровом слое почвы в варианте № 3 снизилось до уровня слабого засоления. В варианте № 4, где капитальная промывка проводилась на фоне рыхления через 1.2 м, почва оставалась еще среднезасоленной. Только к началу третьего года вегетации почвы здесь перешли в разряд слабозасоленных. Процесс рассоления почв на нерыхленном участке (контроль) за эти годы происходил примерно с такой же интенсивностью. Однако из-за высокой степени остаточного засоления после капитальной промывки почвы оставались сильно- и среднезасоленными.

Таблица 95

Урожайность хлопка-сырца в зависимости от схемы рыхления почв при капитальной промывке, т/га

Номер варианта	Приемы рыхления	1979 г.	1980 г.	1981 г.	Среднее
1	Без рыхления (контроль)	0,78	1,05	1,29	1,04
2	Рыхление через 0,6 м	2,09	2,42	2,72	2,41
3	Рыхление через 0,9 м	1,87	2,14	2,46	2,16
4	Рыхление через 1,2 м	1,42	1,64	2,17	1,74

Эффективный вымыв солей в годовом разрезе обеспечивался в основном эксплуатационными промывками. Так, содержание плотного остатка и токсичных солей уменьшалось на 12—20%, а хлора и натрия — на 18—25% от исходного. Как и следовало ожидать, по мере увеличения засоления почв урожайность хлопка-сырца снижалась (табл. 95). Дальнейшее рассоление почвы способствовало росту урожая по годам освоения.

Самый высокий урожай обеспечивается при рыхлении через 0,6 м. При меньшей плотности рыхления (через 0,9 м) урожай снизился за три года в среднем на 10,4%, а при рыхлении через 1,2 м — на 27,8%. Полосовое рыхление (через 0,9—1,2 м) может быть эффективно при наличии линзообразных скоплений гипса и меньшей его мощности.

Капитальная промывка без проведения глубокого рыхления не обеспечивала требуемого рассоления и получения высоких урожаев хлопка-сырца. По сравнению с оптимальным вариантом в контроле урожай был ниже в среднем на 57%. Таким образом, проведение сплошного рыхления, достигаемого расстановкой рабочих органов, способствует улучшению водно-физических свойств гипсоносных почв и повышает эффективность капитальной промывки. На фоне такого рыхления обеспечиваются благоприятный водно-солевой режим почв и повышение урожая хлопка-сырца. В связи с тем что мощность гипсового горизонта и глубина его залегания варьируют в широком диапазоне (от 0,20 до 1,20 м и более), очень важно установить мощность разрыхленного слоя и дальнейшее поэтапное освоение земель. С этой целью в 1981—1984 гг. был заложен опыт по изучению влияния различной глубины рыхления на эффективность капитальной промывки и освоения земель под хлопчатник по следующей схеме: рыхление на глубину 0,4; 0,6 и 0,8 м соответственно в вариантах № 1, 2 и 3. В варианте № 4 рыхление проводилось с чередованием глубины. При этом междренье делилось на три полосы: центральную шириной 15 м рыхлили на глубину 75 см, а соседние с ней придренные по 7,5 м — на 50 см. Перед рыхлением была прове-

дена вспашка опытного участка на глубину 25 см. Исследования велись на фоне временного дренажа через 30 м, построенного в дополнение к закрытому постоянному на период промывки. Глубокое рыхление выполнялось трактором с навесным рыхлителем РН-61, имеющим три рабочих органа, размещенных через 75 см друг от друга. Промывка проводилась в осенне-зимний период 1981/82 г. нормой 16 тыс. м³/га.

Результаты исследований показали, что водно-физические свойства почв заметно улучшались во всей разрыхленной толще. В гипсовом горизонте (20—60 см) объемная масса уменьшилась в среднем на 10%, а коэффициент фильтрации с поверхности почвы увеличился в 3—4 раза. Проведение рыхления на глубину гипсового горизонта существенно повышало эффективность промывки (табл. 96).

Таблица 96

Продолжительность и норма промывки

Показатель	Номер варианта			
	1	2	3	4
Фактическая продолжительность промывки, сут	96	79	65	72
Водоподача, м³/га	16200	16000	16160	16200
Атмосферные осадки, м³/га	880	670	530	610
Испарение, м³/га	1450	1190	970	1040
Фактическая промывная норма, м³/га	15630	15480	15660	15770

Так, при глубине рыхления 0,8 м продолжительность промывки была наименьшей, и по сравнению с глубиной 0,6 м она снизилась на 14 сут. Надо отметить, что при переменной глубине рыхления (вариант № 4) продолжительность промывки несколько увеличилась вследствие того, что в придренной полосе гипсовый горизонт был разрыхлен не на полную мощность (на 50 см), хотя в середине междрений глубина рыхления составляла 0,75 м. Рыхление на глубину 0,4 м увеличивало продолжительность промывки на 24—31 сут и снижало впитывание за сутки на 20—25% по сравнению с вариантами № 3 и 4.

В зависимости от глубины рыхления изменялся и вынос солей из временных дрен. Объем дренажного стока составлял 7600—8400 м³/га, или 48,6—53,6% от фактической промывной нормы. Вместе с этим объемом выносилось наибольшее количество токсичных солей в варианте № 3 (152,6 т/га, в том числе 34,6 т/га хлор-иона). При переменной глубине рыхления на 0,5 и 0,75 м (вариант № 4) отток солей во временные дрены был также интенсивным, и за период промывки было отведено 149,2 т/га токсичных солей, в том числе 34,2 т/га хлора. Большой вымыв солей с дренажной водой отмечался и при глубине рыхления 0,6 м (вариант № 2) — 147,4 и 33,0 т/га соответственно токсичных со-

лей и хлор-иона. При недостаточной глубине рыхления (вариант № 1) вымыв солей был меньше на 15—20%, чем при рыхлении на 0,8 м и чередовании глубины на 0,5 и 0,75 м. Следовательно, при залегании гипсового горизонта на глубине 0,6—0,7 м лучший отток солей с дренажной водой при промывке обеспечивается на фоне глубокого рыхления (0,8 м). Чередование глубины рыхления на 0,5 и 0,75 м создавало также большой отток солей из временных дрен. В конкретных условиях при рыхлении на глубину 0,8 м, а также при переменной глубине (0,5 и 0,75 м) временным дренажем отводилось 80,7—82,6% от общего количества токсичных солей, вымываемых из метрового слоя почвы.

Наиболее существенно глубокое рыхление сказывалось на вымыве солей из почвы. При фактической норме капитальной промывки 15,5—15,8 тыс. м³/га верхний метровый слой почвы опреснялся до допустимых пределов только на фоне рыхления 0,8 м и чередования глубины рыхления на 0,5 и 0,75 м (табл. 97). При

Таблица 97

Влияние глубины рыхления на содержание солей в метровом слое почвы в первые годы освоения, %

Период определения	Номер варианта					
				4		
	1	2	3	рыхление на 0,5 м	рыхление на 0,75 м	среднее
Сумма токсичных солей						
До промывки	1,578	1,554	1,542	1,531	1,582	1,557
После промывки	0,508	0,347	0,268	0,309	0,285	0,297
Осень 1982 г.	0,527	0,374	0,289	0,322	0,296	0,309
Весна 1983 г.	0,412	0,267	0,215	0,242	0,223	0,233
Осень 1983 г.	0,446	0,313	0,236	0,265	0,251	0,258
Весна 1984 г.	0,372	0,215	0,192	0,218	0,202	0,210
Осень 1984 г.	0,387	0,236	0,223	0,239	0,225	0,232
Хлор-ион						
До промывки	0,312	0,310	0,305	0,302	0,314	0,308
После промывки	0,071	0,036	0,023	0,031	0,025	0,028
Осень 1982 г.	0,080	0,043	0,028	0,034	0,030	0,032
Весна 1983 г.	0,050	0,025	0,019	0,023	0,021	0,022
Осень 1983 г.	0,061	0,034	0,023	0,026	0,024	0,025
Весна 1984 г.	0,043	0,020	0,015	0,021	0,017	0,019
Осень 1984 г.	0,048	0,026	0,022	0,027	0,021	0,024
Натрий						
До промывки	0,415	0,406	0,409	0,404	0,417	0,411
После промывки	0,106	0,058	0,037	0,045	0,041	0,043
Осень 1982 г.	0,113	0,069	0,043	0,052	0,047	0,049
Весна 1983 г.	0,068	0,040	0,030	0,033	0,036	0,035
Осень 1983 г.	0,087	0,053	0,036	0,037	0,042	0,040
Весна 1984 г.	0,063	0,029	0,024	0,030	0,028	0,029
Осень 1984 г.	0,023	0,038	0,035	0,038	0,034	0,036

рыхлении на глубину 0,4 м почва после промывки оставалась сильнозасоленной несмотря на то, что вымыв солей был достаточно высоким: 67,8; 77,2 и 74,5% соответственно по сумме токсичных солей, хлору и натрию. Здесь в первый год освоения существенных изменений в степени засоления почв не произошло. В последующие годы солевой режим почв заметно улучшался, чему способствовали эксплуатационные промывки. Однако за три года освоения требуемого опреснения не было достигнуто, и почвы еще оставались среднезасоленными. Углубление рыхления до 0,6 м повысило солеотдачу метрового слоя при промывке на 31,7%, а остаточное содержание токсичных солей уменьшилось до 0,347%. При этом почва была опреснена до уровня среднего засоления. Причем во второй и третий годы освоения содержание солей снизилось до порога токсичности (0,02—0,03% по хлор-иону).

Существенное улучшение солевого режима почв наблюдалось при увеличении глубины рыхления до 0,8 м (рис. 38). Здесь почва перешла из очень сильнозасоленной в слабозасоленную. На фоне ежегодных эксплуатационных промывок и промывного режима орошения в последующие два года происходило дальнейшее снижения степени засоления (до 0,02% по хлор-иону).

Таблица 98

Урожайность хлопка-сырца в зависимости от глубины рыхления, т/га

Номер варианта	Глубина рыхления, м	1982 г.	1983 г.	1984 г.	Среднее
1	0,4	1,24	1,73	1,82	**1,60**
2	0,6	1,86	2,42	2,61	2,30
3	0,8	2,43	2,56	2,67	**2,55**
4	0,5 и 0,75	2,39	2,53	2,65	**2,52**

Дифференциация глубины рыхления с учетом особенности притока промывной воды к дренам оказывает положительное влияние на интенсивность рассоления почвы. После промывки в придренной зоне содержание иона хлора и натрия не превышало порога токсичности. Хотя по общему содержанию токсичных солей почва незначительно превышала уровень слабого засоления, в середине междренья на фоне более глубокого рыхления (0,75 м) капитальной промывкой почва была доведена до уровня слабого засоления как по хлор-иону и натрию, так и по сумме токсичных солей. Если в первый год освоения здесь отмечалась некоторая пестрота засоления, обусловленная неодинаковой глубиной рыхления, то во второй и третий годы разницы в содержании солей по ширине междренья практически не наблюдалось.

Сопоставление полученных данных по урожайности хлопчатника в первые три года освоения (табл. 98) показывает, что существенная прибавка урожая отмечается на фоне рыхления все-

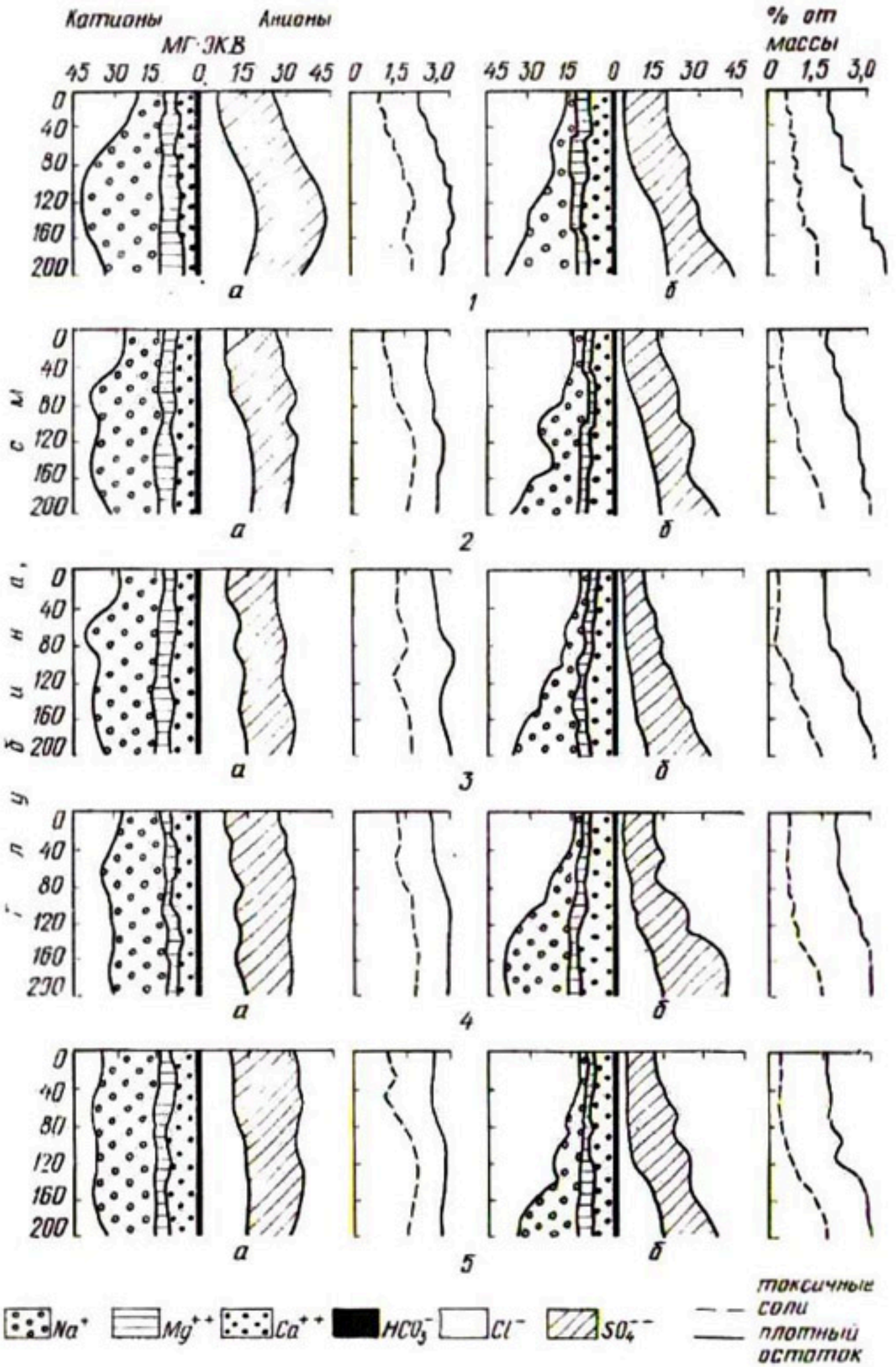


Рис. 38. Влияние глубины рыхления на вымыв солей из почвы:

а — до промывки, *б* — после промывки; *1* — глубина рыхления 0,4 м, *2* — глубина рыхления 0,6 м, *3* — глубина рыхления 0,8 м, *4* — рыхление придренной полосы глубиной 0,5 м; *5* — рыхление на 0,75 м средней части полосы

го гипсового горизонта. Наибольший урожай был получен при рыхлении почвы на глубину 0,8 м (25,5 т/га). При чередовании глубины рыхления (вариант № 4) разница в урожае с вариантом № 3 была математически недостоверной. Существенное снижение урожая отмечалось в варианте № 1, где рыхление проведено на глубину 0,4 м. При всех схемах рыхления урожайность хлопчатника по годам освоения повышается вследствие улучшения водного и солевого режимов почв.

Таким образом, данные солевого режима почв и урожайности хлопка-сырца свидетельствуют об эффективности проведения рыхления на всю толщу гипсового горизонта. Экономически целесообразно также проводить дифференцированное рыхление, снижая его глубину на 15—20% в придренной полосе.

С учетом обобщений опубликованных материалов и исходя из собственных исследований на гипсоносных почвах промывные нормы в зависимости от водопроницаемости почв и содержания водно-растворимых солей в слое почвы 0—100 см рекомендуется принимать от 7 до 18 тыс. м³/га, а кратность промывки от 3 до 7 (табл. 99).

Таблица 99

Рекомендуемые промывные нормы и кратность капитальной промывки трудномелиорируемых земель

Коэффициент фильтрации, м/сут	Содержание солей в слое почвы 0—100 см, %		Общая промывная норма, тыс. м³/га	Кратность промывки	Распределение общей промывной нормы по тактам, тыс. м³/га						
	токсичных	хлорида			1	2	3	4	5	6	7
0,1—0,03	0,5—0,8	0,1—0,2	7	3	3	2	2	—	—	—	—
	0,8—1,1	0,2—0,3	9	4	3	2	2	2	—	—	—
	1,1—1,4	>0,3	11	5	3	2	2	2	2	—	—
0,03—0,01	0,5—0,8	0,1—0,2	9	4	3	2	2	2	—	—	—
	0,8—1,1	0,2—0,3	12	5	3	2,5	2,5	2	2	—	—
	1,1—1,4	>0,3	15	6	3	3	2,5	2,5	2	2	—
<0,01	0,5—0,8	0,1—0,2	12	5	3	2,5	2,5	2	2	—	—
	0,8—1,1	0,2—0,3	15	6	3	3	2,5	2,5	2	2	—
	1,1—1,4	>0,3	18	7	3	3	3	2,5	2,5	2	2

ПОВЫШЕНИЕ ПЛОДОРОДИЯ ПОЧВ ПОСЛЕ КАПИТАЛЬНОЙ ПРОМЫВКИ ПУТЕМ ВОЗДЕЛЫВАНИЯ КУЛЬТУР-ОСВОИТЕЛЕЙ

Одним из важнейших условий эффективного использования осваиваемых засоленных земель в первые годы после капитальной промывки является возделывание культур-освоителей. При

соблюдении комплекса агротехнических мероприятий выращивание солеустойчивых культур, обладающих высокими фитомелиорирующими свойствами, путем наращивания биологически активного слоя обеспечивает дальнейшее повышение плодородия почв и их рассоление. В качестве культур-освоителей предлагается использовать суданскую траву, подсолнечник, сорго (джугара), озимый ячмень, просо, озимую рожь (Рабочев, 1951; Рамазанов, Калимбетов, 1975; Артыков, 1975, 1980 и др.). По мнению Б. А. Пиуновского (1952), В. К. Кабаева (1953) и А. А. Шахова (1956), подсолнечник является наиболее солевыносливой культурой. Он может нормально развиваться при содержании хлора в почве 0,08%. Лучшим предшественником хлопчатника на вновь осваиваемых землях Голодной степи К. А. Абдуразаков (1964) считает сорго. При этом прибавка урожая хлопчатника после сорго составляет 0,35—0,45 т/га по сравнению с посевом хлопчатника по хлопчатнику. М. Кулиев и др. (1981) предлагают после уборки сорго возделывать озимый горох в смеси с рожью, овсом или просом. Полученные результаты свидетельствуют, что при этом происходит эффективное опреснение засоленных земель и урожайность хлопка-сырца повышается на 0,6 т/га.

Заметный рост продуктивности хлопчатника происходит при возделывании сидеральных культур. Как отмечает Ж. Едгаров (1964), при этом урожай хлопка ощутимо повышается в первом и во втором году после запашки шабдара, возделывавшегося совместно с горчицей. Дело в том, что эти культуры обогащают почву органическим веществом, доступными формами азота и фосфора. Прибавка урожая хлопка за два года составила 1,01 ц/га.

И. Киселева и Э. Лифшиц (1970) отмечают, что на солончаках, которые невозможно промыть до требуемого предела, целесообразно возделывать подсолнечник и сорго с целью дальнейшего опреснения почв. На засоленных гипсоносных почвах Голодной степи, как указывают А. Морозов и Г. Решетов (1980), закрепление эффекта промывок и последующее рассоление в вегетационный период происходят активно при возделывании кукурузы, сорго и подсолнечника.

Однако вопросы применения культур-освоителей после промывки трудномелиорируемых гипсоносных почв в новоорошаемой зоне Голодной степи в литературе освещены недостаточно. Отсутствуют также данные о сравнительной эффективности разных культур для повышения мелиоративного эффекта.

В совхозе имени Е. Е. Алексеевского Сырдарьинской области в 1981—1984 гг. проведен специальный полевой опыт совместно с П. Ф. Беспаловым, в котором изучалась сравнительная эффективность возделывания разных культур-освоителей после капитальной промывки. Опыт был заложен на фоне закрытого горизонтального дренажа с расстоянием между дренами 150 м. Почвы сероземно-луговые, сложенные переслаивающимися суглинками преимущественно среднего и легкого механического состава с линзами супесей и песков. На глубине 35—60 см залегал водо-

непроницаемый гипсоносный горизонт с содержанием гипса 25—35%; в нижележащих горизонтах его содержание составляло 5—15%.

Почвы очень сильнозасоленные с содержанием плотного остатка более 2%, в том числе до 60% токсичных солей. Тип засоления хлоридно-сульфатный. Химический состав грунтовых вод преимущественно хлоридно-сульфатно-натриево-магниевый; минерализация их 12—14 г/л по плотному остатку. Подготовка почвы к промывке включала зяблевую вспашку на 30 см и рыхление на глубину 70 см с помощью навесного трехстоечного рыхлителя РН-61 на тяге трактора Т-130.

Промывка почв проводилась в осенне-зимний период 1981/82 г. на фоне временного открытого горизонтального дренажа глубиной 90—100 см с расстоянием между дренами 30м. В сочетании с постоянным закрытым дренажем это обеспечивало лучшее опреснение земель за менее продолжительный период. Норма промывки составляла 16 тыс. м³/га. Воду подавали в шесть тактов по чекам площадью 0,15 га, добиваясь равномерного рассоления всей площади.

Надо отметить, что капитальной промывкой во всех вариантах опыта был создан примерно одинаковый фон по степени засоления. В среднем содержание токсичных солей в метровом слое почвогрунта составляло 0,28—0,30%, в том числе 0,028—0,030 хлор-иона и 0,047—0,051% иона натрия. Наиболее существенно был опреснен верхний 60-сантиметровый слой почвогрунта, тогда как с глубины 120—140 см вымыв солей резко снизился (рис. 39). В ряде случаев произошло накопление солей в нижних слоях двухметровой толщи, обусловленное перемещением их вместе с потоками промывной воды. При промывке наиболее интенсивно вымыв солей протекал в первые этапы ее проведения (до 8—10 тыс. м³/га), а в дальнейшем солеотдача почвогрунта заметно уменьшилась.

В 1982 г. к началу сева сельскохозяйственных культур почва была опреснена до порога токсичности. По вариантам опыта различия в содержании солей как в слое 0—60 см, так и в горизонте 0—100 см были невелики. В этот период минерализация грунтовых вод составляла 6,6—8,2 г/л по плотному остатку, в том числе 3,3—4,5 г/л по сумме токсичных солей. После подготовки почвы высевали культуры-освоители по следующей схеме опыта (табл. 100). В 1982 г. возделывали подсолнечник, сорго, суданскую траву и хлопчатник. В том же году осенью эти поля отвели под такие культуры, как тритикале, озимая рожь и перко. После уборки на зеленый корм в 1983 г. возделывали кукурузу на зеленую массу. В варианте № 4 в эти годы высевали только хлопчатник сорта 108-Ф, а в 1984 г. его выращивали во всех вариантах опыта. Ежегодно под хлопчатник проводился осенне-зимний влагозарядково-промывной полив нормой 3 тыс. м³/га, а перед высевом пожнивных культур — влагозарядковый полив нормой 2,5 тыс. м³/га. В ходе трехлетних экспериментов в вариантах

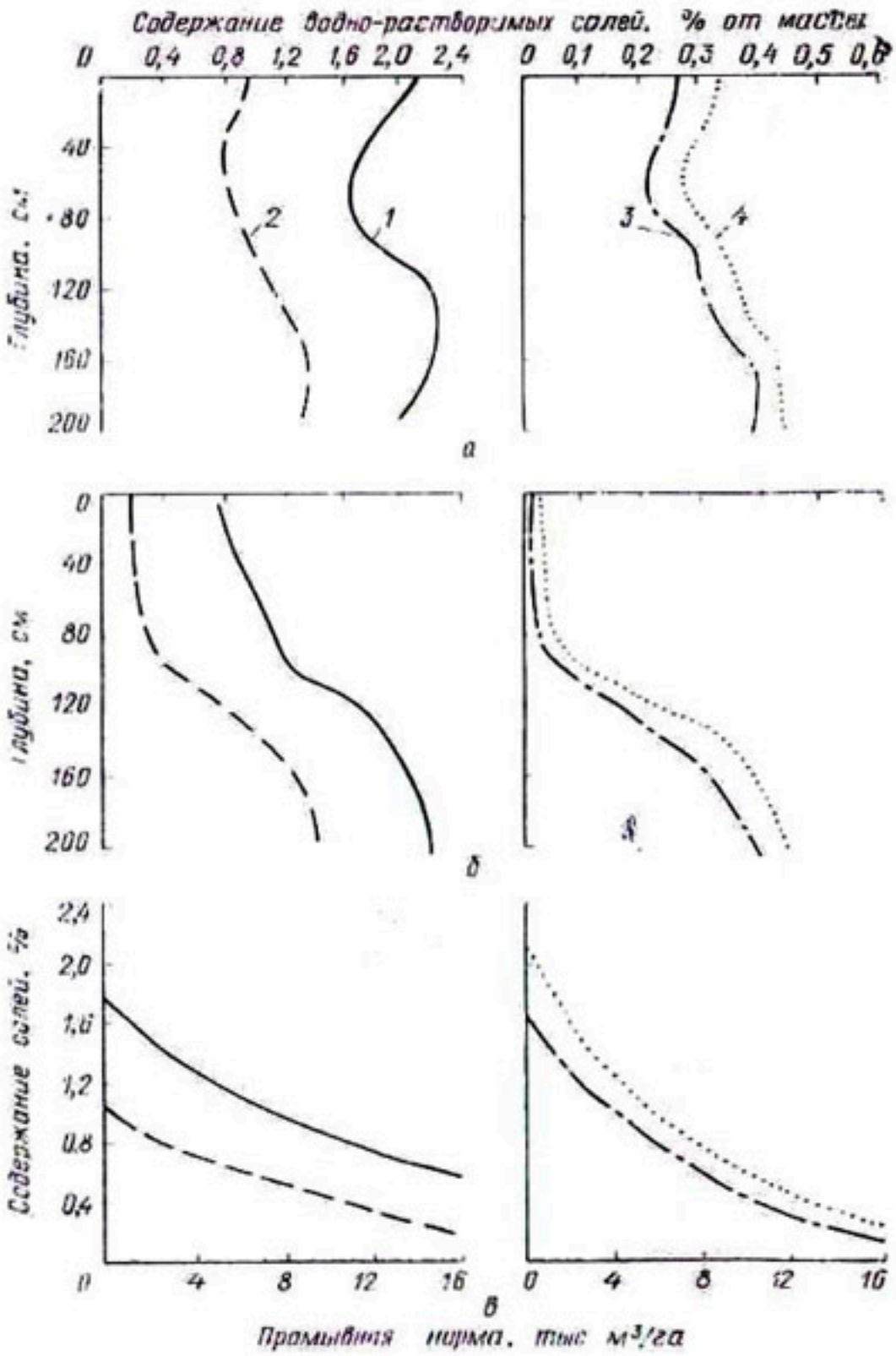


Рис. 39. Содержание водно-растворимых солей в почве в опыте с культурами-освоителями:

а — до промывки, *б* — после промывки, *в* — во время промывки в слое 0—100 см; *1* — плотный остаток солей; *2* — сумма токсичных солей, *3* — хлор-ион, *4* — ион натрия

№ 1—3, где в течение двух лет возделывали культуры-освоители, объемная масса почвы в слое 0—80 см снизилась с 1,49 до 1,40 г/см³, а водопроницаемость с поверхности повысилась на 18—25%. В то же время в варианте № 4 при возделывании только хлопчатника произошло некоторое ухудшение водно-физических свойств почвы, особенно на третий год освоения земель.

Таблица 100

Схема опыта

Номер варианта	Культура-освоитель		
	1982 г.	1983 г.	1984 г.
1	Подсолнечник + тритикале под зиму	Озимое тритикале+пожнивная кукуруза	Хлопчатник
2	Сорго + перко под зиму	Озимое перко + пожнивная кукуруза	—«—
3	Суданская трава + рожь под зиму	Озимая рожь + пожнивная кукуруза	—«—
4	Хлопчатник	Хлопчатник	—«—

Соблюдение системы агротехнических мероприятий по выращиванию культур-освоителей весьма положительно влияло на дополнительное рассоление почвы (табл. 101). Так, в конце первого сезона культуры-освоители повысили интенсивность рассоления почв на 13,8—14,8% по сумме токсичных солей, на 17,1—28,6% по хлор-иону и 4—18% — по натрию. Это обусловлено тем, что динамика засоления в вегетационный период проходила поразному из-за различий в режиме орошения сельскохозяйственных культур. Оросительная норма хлопчатника составляла 5000 м³/га за 4 полива, а культур-освоителей была больше вследствие проведения пятого полива— 6200 м³/га. В вариантах № 1—3 дополнительно под посев озимых в сентябре был проведен еще влагозарядковый полив нормой 2500 м³/га. Таким образом, в первых трех вариантах водоподача в 1982 г. составила 8700 м³/га против 5000 м³/га на посевах хлопчатника.

Кроме того, в последнем случае после уборки хлопка-сырца была проведена эксплуатационная промывка нормой 3000 м³/га. При таком режиме орошения содержание токсичных солей за вегетацию в метровом слое почвы в вариантах с культурами-освоителями уменьшилось на 1—7%, а при возделывании хлопчатника возросло на 11%. Такая же закономерность установлена и по изменению содержания ионов хлора и натрия, только в значительно больших размерах.

Во второй год освоения земель в вариантах с культурами-освоителями весной был проведен вегетационный полив озимых общей нормой 1400 м³/га; после уборки их дана влагозарядка из расчета 2500 м³/га. Затем при выращивании пожнивной кукурузы потребовалось три полива с оросительной нормой 3600 м³/га. Таким образом, при возделывании двух культур (озимые+кукуруза на зеленую массу) общая водоподача составила 7500 м³/га. В варианте № 4 с хлопчатником вегетационная оросительная норма была равна 5200 м³/га. Здесь в осенне-зимний период 1982—1983 гг. при промывке подали еще 3000 м³/га.

Таблица 101

Изменение содержания солей в почве, %

Номер варианта	Весна			Осень		
	Токсичные соли	Хлор-ион	Ион натрия	Токсичные соли	Хлор-ион	Ион натрия
Первый год освоения (1982 г.)						
1	0,256	0,022	0,037	0,246	0,022	0,038
	0,282	0,028	0,048	0,278	0,026	0,044
2	0,261	0,024	0,043	0,242	0,022	0,037
	0,298	0,029	0,049	0,277	0,025	0,041
3	0,254	0,023	0,041	0,257	0,023	0,040
	0,289	0,030	0,051	0,280	0,029	0,048
4	0,258	0,024	0,043	0,294	0,031	0,048
	0,293	0,030	0,047	0,325	0,035	0,050
Второй год освоения (1983 г.)						
1	0,237	0,020	0,029	0,232	0,019	0,032
	0,266	0,025	0,038	0,258	0,023	0,036
2	0,239	0,020	0,035	0,224	0,018	0,030
	0,268	0,023	0,038	0,251	0,020	0,032
3	0,250	0,021	0,035	0,243	0,020	0,033
	0,274	0,026	0,043	0,267	0,024	0,038
4	0,258	0,020	0,034	0,286	0,026	0,043
	0,272	0,026	0,042	0,305	0,031	0,049
Третий год освоения (1984 г.)						
1	0,184	0,012	0,022	0,207	0,018	0,028
	0,223	0,015	0,029	0,242	0,023	0,038
2	0,175	0,010	0,018	0,201	0,017	0,026
	0,216	0,014	0,027	0,229	0,021	0,033
3	0,197	0,012	0,021	0,212	0,020	0,029
	0,248	0,017	0,027	0,263	0,025	0,036
4	0,241	0,018	0,031	0,264	0,026	0,039
	0,264	0,021	0,033	0,282	0,029	0,044

Примечание. В числителе приводятся данные по содержанию солей в слое 0—60 см, в знаменателе — 0—100 см.

Как показали наблюдения, в период второго года опытов сохранялась та же закономерность, т. е. происходило постепенное рассоление и дальнейшее улучшение солевого режима почв в вариантах с культурами-освоителями. Содержание токсичных солей осенью было меньше, чем при возделывании хлопчатника по хлопчатнику, на 12,5—17,7%. Весной эти различия были несущественными. При этом количество иона хлора не превышало 0,02—0,025%.

Надо отметить, что эксплуатационная промывка в варианте № 4 нормой 3000 м³/га хотя в определенной степени и снизила засоление, однако уровень его весной оставался несколько выше,

чем в других вариантах. В первом случае при монокультуре хлопчатника к осени происходила реставрация засоления, которая составила для метрового слоя 12%, тогда как во втором случае, т. е. при выращивании культур-освоителей, напротив, отмечалось некоторое опреснение почвы (3—6% от исходного).

Благоприятное воздействие культур-освоителей на солевой режим почв объясняется, с одной стороны, снижением капиллярного поднятия солей вследствие хорошей затененности поверхности почвы и улучшением структуры ее, а с другой — большей водоподачей благодаря дополнительным влагозарядковым поливам. Изучаемые культуры-освоители оказали положительное воздействие на динамику солей, способствуя поддержанию слабой степени засоления почвы. При этом в варианте № 2 реставрация засоления была несколько меньше. Только в варианте № 4, где возделывали хлопчатник, содержание токсичных солей осенью несколько превышало уровень слабого засоления.

В третий год, когда во всех вариантах возделывался хлопчатник, коэффициент сезонного засоления на фоне промывного режима орошения был незначительным и составлял 1,06—1,09 по сумме токсичных солей. По сравнению с первыми двумя годами освоения новых земель наблюдается улучшение мелиоративной обстановки, особенно в варианте № 2, где концентрация токсичных солей в метровом слое снизилась на 23,2%, в том числе хлориона — на 27,6 и иона натрия — на 32,6%. Из культур-освоисамое меньшее рассоление отмечалось в варианте № 3 — 9% по токсичным солям. Формирование наиболее благоприятного солевого режима происходило при возделывании подсолнечника или сорго в первый год освоения и озимых тритикале или перко+кукуруза во второй год.

Возделывание культур-освоителей способствовало повышению содержания органических веществ и подвижных форм питательных элементов в почве. За двухлетний период количество гумуса в слое 0—20 см возросло на 11% (от 0,78—0,87 до 0,89—0,96). При этом тенденция к наибольшему его накоплению отмечалась в варианте № 2. После трехлетнего бессменного возделывания хлопчатника в варианте № 4 содержание гумуса не претерпевало существенного изменения и оставалось на первоначальном уровне.

В пахотном горизонте содержание нитратного азота возросло от 4,76 до 5,27—5,49 мг/кг почвы при возделывании культур-освоителей. По запасам усвояемого фосфора выделялся вариант № 2. Здесь в слое 0—20 см количество его составляло в среднем 32,5 мг/кг почвы, в то время как при бессменном возделывании хлопчатника находилось на уровне 26,3 мг/кг. При этом немаловажное значение имело внесение удобрений. В целом культуры-освоители положительно сказались на мобилизации питательных элементов из валовых запасов почвы и накоплении в ней органических веществ за счет разложения растительных остатков.

Проведенные агромелиоративные мероприятия способствова-

ли повышению урожайности осваиваемых целинных земель (табл. 102). Более высокие урожаи зеленой массы сорго, перко и кукурузы были получены в варианте № 2. Кроме того, возросло и плодородие земель. Этим можно объяснить повышение урожайности хлопка-сырца на 0,61 т/га (36,7%) по сравнению с ежегодным посевом хлопчатника по хлопчатнику. Таким образом, возделывание культур-освоителей позволяет улучшить мелиоративное состояние земель, получить более высокий выход кормов и поднять урожайность хлопчатника на гипсоносных засоленных почвах.

Таблица 102

Урожайность культур-освоителей после капитальной промывки гипсоносных почв, т/га

Номер варианта	1982 г.		1983 г.		1984 г.	
	Культура	Урожайность	Культура	Урожайность	Культура	Урожайность
1	Подсолнечник	23,6	Тритикале Кукуруза Итого	33,84 29,7 63,54	Хлопчатник	2,08
2	Сорго	28,52	Перко Кукуруза Итого	36,9 33,73 70,63	Хлопчатник	2,27
3	Суданская трава	22,4	Рожь Кукуруза Итого	27,56 26,5 54,06	Хлопчатник	1,89
4	Хлопчатник	1,23	Хлопчатник	1,54	Хлопчатник	1,66

Следует отметить, что на более опресненных почвах (0,010—0,015% по хлор-иону) урожайность суданской травы составила 40 т/га зеленой массы за три укоса. Это значительно выше, чем при возделывании других более солеустойчивых культур, например, подсолнечника и сорго. Кроме того, после нее происходит заметное накопление органических веществ в почве. Как показали наблюдения, на тяжеломелиорируемых землях эффективно выращивание рапса. Возделывание его позволяет опреснить почвы и получить около 35,0 т/га зеленой массы.

Результаты исследований свидетельствуют о том, что культуры-освоители, обладающие повышенной солеустойчивостью, позволяют снизить реставрацию засоления почв и поднять почвенное плодородие без дополнительного проведения мелиоративных работ. При этом закрепляется достигнутый промывкой эффект и существенно возрастает урожайность основной культуры — хлопчатника. Во всех случаях культуры-освоители на вновь осваиваемых сильнозасоленных гипсоносных почвах способствовали повышению урожайности хлопка-сырца. На опытном участке прос-

леживалась тенденция роста урожайности вследствие улучшения водного, солевого и питательного режимов почв. По мере отдаления от года освоения сильнозасоленных земель урожайность хлопка-сырца увеличивается. В целом полученные данные позволяют рекомендовать возделывание культур-освоителей в течение 2 лет после капитальной промывки.

ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ

1. Орошаемая территория Голодной степи по почвенно-мелиоративным условиям неоднородна. С целью дифференциации комплекса мелиоративных мероприятий, обеспечивающих создание и поддержание оптимального водно-солевого режима почв для получения наибольшего урожая хлопка-сырца при эффективном использовании земельноводных ресурсов, выделены следующие зоны:

I — зона орошаемых почв, развитых на лессах и лессовидных суглинках;

II — зона орошаемых почв, развитых на слоистых отложениях (аллювиальных и пролювиальных);

III — зона сильнозасоленных гипсоносных почв.

2. Дренаж является основой системы мелиоративных мероприятий. В первой почвенно-мелиоративной зоне регулирование водного и солевого режимов почвы и грунтовых вод обеспечивается на фоне вертикального дренажа, во второй зоне — глубокого закрытого горизонтального дренажа и в третьей — горизонтального закрытого в сочетании с вертикальным.

3. Режим работы скважин вертикального дренажа в мелиоративный и эксплуатационный периоды должен быть дифференцирован. В мелиоративный период коэффициент полезной работы (КПР) скважин следует принимать не менее 0,83 в течение всего года. В эксплуатационный период КПР скважин должен составлять: в невегетационный период 0,65—0,75, в вегетационный — 0,45—0,55 и в среднем за год — 0,6.

4. Рекомендуемый режим работы скважин вертикального дренажа в мелиоративный период в сочетании с осенне-зимними промывными нормами (5—8 тыс. м^3/га) и промывным режимом орошения обеспечивает ускоренное рассоление засоленных почв и поддержание уровня грунтовых вод не выше 2,75 м. В эксплуатационный период на фоне осенне-зимних профилактических промывок и орошения дренаж обеспечивает регулирование уровня грунтовых вод в период вегетации в пределах 2,2—3,4 м, а также создание и поддержание оптимального водного и солевого режимов почвы.

5. В условиях Голодной степи как на староорошаемых, так и новоорошаемых землях формируется полугидроморфный мелиоративный режим, при котором минерализованные грунтовые воды

в том или ином количестве расходуются на эвапотранспирацию, что приводит к сезонному соленакоплению. Интенсивность его возрастает в связи с повышением минерализации оросительной воды. Регулирование солевого режима почв в оптимальных пределах обеспечивается при ежегодном проведении осенне-зимних эксплуатационных промывок и орошения хлопчатника научно обоснованными нормами. Возделывание хлопчатника без профилактической промывки снижает урожай хлопка-сырца на 0,3—0,4 т/га в первый год, а в последующие годы до 1 т/га.

6. Нормы эксплуатационных промывок в зависимости от степени засоления и строения почвогрунтов в слое аэрации (однородное или слоистое) составляют 2—6 тыс. м³/га. В зоне интенсивного действия вертикального дренажа (до 300 м от скважины) они снижаются на 0,5—1,0 тыс. м³/га.

7. На незасоленных и слабозасоленных землях Голодной степи оптимальным режимом предполивной влажности почвы, обеспечивающим получение наибольшего урожая хлопка-сырца при экономном использовании оросительной воды, является 70—70—60% от НВ для среднеспелых сортов хлопчатника типа 108-Ф, Ташкент-1 и 70—75—60% НВ для более скороспелых сортов хлопчатника типа С-4727 и Ташкент-6.

8. В зависимости от комплекса факторов, определяющих величину суммарного водопотребления хлопкового поля, — метеорологических условий года, уровня и минерализации грунтовых вод, строения почвогрунта в слое аэрации (однородное или слоистое), сложения его по плотности (рыхлое или уплотненное), биологических особенностей возделываемых сортов — оросительные нормы хлопчатника колеблются: при поливах по бороздам от 1900 до 6400 и при поливе дождеванием от 1700 до 4700 м³/га.

9. При полугидроморфном мелиоративном режиме установлена высокая эффективность влагозарядкового полива, проводимого в осенне-зимний период нормой 1500—2000 м³/га. На фоне такого полива обеспечивается сокращение числа вегетационных поливов на один, снижение оросительной нормы на 1200—1900 м³/га и повышение урожая хлопка-сырца на 4,2 ц/га. При этом удельные затраты воды не увеличиваются.

10. Орошение хлопчатника дождеванием на почвах, развитых на лесса их лессовидных суглинках, и при неглубоком (2—3 м и ближе) залегании грунтовых вод обеспечивает равномерное распределение поливной нормы, снижение оросительной нормы на 30%, затрат труда в три раза и повышение урожая хлопка-сырца на 5—6% в сравнении с бороздковым поливом.

11. Применительно к условиям орошаемых земель Голодной степи оптимальная длина борозд в зависимости от уклона и водопроницаемости почвы на широкорядных посевах хлопчатника должна составлять 120—300 м, расход воды в борозду при переменной струе — 1,5/0,8—0,,6/0,3 и постоянной 1,2—0,4 л/с.

12. Глубокое мелиоративное рыхление является одним из радикальных средств, повышающих эффективность капитальной

промывки гипсоносных почв. По сравнению со вспашкой на 25—30 см глубокое рыхление существенно улучшает водно-физические свойства почв: объемная масса в слое 0—100 см уменьшается на 7—8%, а в гипсоносном горизонте — на 18%. Водопроницаемость почвы с поверхности увеличивается в 3,9—4,3 раза, а с поверхности гипсоносного горизонта в 30 раз и более. Вымыв токсичных солей при промывке возрастает до 20%, а продолжительность промывки сокращается на 36 дней.

13. Устройство временного дренажа глубиной 0,9—1,0 м с расстояниями 20—30 м на фоне обычной вспашки в сочетании с глубоким рыхлением сокращает продолжительность промывки в 1,5—1,8 раза (до 73—79 дней) и увеличивает вымыв солей в 2—2,5 раза. При этом в первый же год промывки нормой 15 тыс. м³/га достигается рассоление очень сильнозасоленных почв до слабой степени засоления. Эффективным междренным расстоянием при устройстве временных дрен является 30 м.

14. Наибольший промывной эффект оросительной воды обеспечивается при капитальной промывке на фоне глубокого рыхления почвы, временных дрен с расстоянием 30 м и внесении навоза или лигнина (30 т/га). Вымыв солей при этом увеличивается в 2,5—3,0 раза, продолжительность промывки сокращается в 1,3—2,0 раза и почвы рассоляются после промывки нормой 12 тыс. м³/га до слабой степени засоления. При этом в первый же год освоения можно получить до 2,3 т/га хлопка-сырца.

15. Оптимальным сроком капитальной промывки является осенне-зимний период. При летней промывке непроизводительные потери промывной воды достигают 42,6% промывной нормы, что в 3,0—3,8 раза больше, чем при осенне-зимней промывке.

16. С целью дальнейшего рассоления и повышения плодородия гипсоносных почв после капитальной промывки рекомендуется в первый и второй годы освоения высевать культуры-освоители на фоне влагозарядково-промывного полива и при соблюдении промывного режима орошения. Из культур-освоителей наиболее продуктивным оказалось сочетание посевов джугары и подсолнечника (в первый год), перко и тритикале под зиму и кукурузы (на второй год). Это обеспечило повышение урожая хлопка-сырца на 0,4—0,6 т/га в сравнении с вариантом, где хлопчатник возделывается сразу же после промывки.

ЛИТЕРАТУРА

Абдуев М., Кулиев А. Производительность промытых почв.— Хлопководство, 1976, № 10, с. 43—44.

Абдуразаков К. А. Изучение культур-освоителей для вновь осваиваемых земель Голодной степи. — В кн.: Сборник научных работ аспирантов СоюзНИХИ, вып. 4. Ташкент: изд. СоюзНИХИ, 1964, с. 193—197.

Аверьянов С. Ф. Некоторые вопросы предупреждения засоления орошаемых земель и меры борьбы с ним в Европейской части СССР. — В кн.: Орошаемое земледелие в Европейской части СССР. М.: Колос, 1965, с. 90—151.

Аверьянов С. Ф. Борьба с засолением орошаемых земель.— М.: Колос, 1978.

Авлакулов М. Приемы повышения эффективности капитальных промывок сильнозасоленных гипсоносных почв Джизакской степи: Автореф. дис. канд. с.-х. наук. — Ташкент, 1984.

Айдаров И. П. К вопросу обоснования режима орошения и параметров дренажа на засоленных или склонных к засолению земель. — В кн.: Теория и практика борьбы с засолением орошаемых земель. М.: Колос, 1971, с. 71—81.

Айдаров И. П. Регулирование водно-солевого и питательного режима орошаемых земель. — М.: Агропромиздат, 1985.

Алимов М. С. Испарение грунтовых вод в Голодной степени.— Хлопководство, 1966, с. 37—40.

Алимов М. С. Опыт и методика оценки элементов баланса грунтовых вод орошаемых территорий Узбекистана. — Ташкент: Фан, 1970.

Антонов В. И., Павлов Г. Н., Побережский Л. Н. Орошение дождеванием на новоосваиваемых землях. — Тезисы по итогам исследований применения дождевания в хлопковой зоне Средней Азии.— Ташкент: изд. СоюзНИХИ, 1976, с. 39—42.

Артыков О. Влияние культур-освоителей на агротехнические свойства целинных почв. — Проблемы освоения пустынь, 1975, № 3, с. 72—74.

Артыков О. Культуры-освоители целинных сероземов Гяурской долины. — Сельское хозяйство Туркменистана, 1980, № 11, с. 19—20.

Бабушкин Л. Н. Агроклиматическое районирование хлопковой зоны Средней Азии. — Л.: Гидрометеоиздат, 1960.

Баер Р. А., Лютаев Б. В. Изучение формирования солевого режима орошаемой территории на ускорителе процесса солевлагопереноса в зоне аэрации. — В кн.: Проблемы генезиса и мелиорации орошаемых почв, ч. 1. М.: изд. Почвенного ин-та, 1973, с. 46—51.

Балаев Л. Г., Шейнкин Г. Ю. Рекомендации по совершенствованию технологии орошения сельскохозяйственных культур в Таджикской ССР на основе организации сосредоточенных поливов и программирования урожая. — М.: изд. ВНИИГиМ, 1985.

Баскаченко И. Н. Использование природных минерализованных вод в сельском хозяйстве. — М.: Колос, 1973.

Бесednов Н. А. Мелиорация засоленных почв. — М.: Сельхозгиз, 1958.

Беспалов Н. Ф. Некоторые физические особенности светлых серозе-

мов Голодной степи. — В кн.: Вопросы мелиорации Голодной степи. Ташкент: изд. СоюзНИХИ, 1957, с. 101—167.

Беспалов Н. Ф. Гидромодульное районирование и режим орошения культур хлопкового севооборота в Голодной степи: Автореф. дис. док. с.-х. наук. — Ашхабад, 1970.

Беспалов Н. Ф. Современная и качественная промывка засоленных земель. — Хлопководство, 1977, № 1, с. 35—36.

Беспалов Н. Ф. Промывка засоленных земель. — Сельское хозяйство Узбекистана, 1980, № 11, с. 20—22.

Беспалов Н. Ф. Сильнозасоленные трудномелиорируемые земли: приемы ускоренного опреснения. — Хлопководство, 1981, № 11, с. 34—35.

Беспалов Н. Ф., Токмурзаев Т. Режим орошения хлопчатника в Голодной степи при поливе дождеванием. — Хлопководство, 1962, № 4, с. 42—46.

Бехбудов А. К., Джафаров Х. Ф. Мелиорация засоленных земель.— М.: Колос, 1980.

Бобченко В. И. Рассоление земель. — В кн.: Борьба с засолением земель. М.: Колос, 1981, с. 178—227.

Броницкий Н. Опыт работы мелиоративной службы. — Хлопководство, 1978, № 1, с. 32—35.

Вакман Э. Г. Повысить эффективность рассоления и освоения трудномелиорируемых земель. — Сельское хозяйство Таджикистана, 1983, № 8, с. 52—54.

Волобуев В. Р. Промывка и дренаж засоленных почв. — В кн.: Проблема засоления почв и водных источников. — М.: Изд-во АН СССР, 1960, с. 97—111.

Волобуев В. Р. Расчеты промывки засоленных земель. — М.: Колос, 1975.

Габриелов Э. Н. Исследование эксплуатации скважин вертикального дренажа в старой зоне орошения Голодной степи (на примере совхоза «Пахтаарал»): Автореф. канд. с.-х. наук. — Ташкент, 1974.

Гаппев К. Г. Испарение в средней и верхней частях бассейна р. Сырдарьи. — Ташкент: Фан, 1974.

Гафуров В. Г. Вопросы орошения целинных земель Голодной степи.— Ташкент: Узбекистан, 1968.

Гильдиев С. А. Поливы хлопчатника. — Ташкент: Госиздат УзССР, 1962.

Гребенников В. Н. Дренаж засоленных земель.— Ташкент: Узбекистан, 1968.

Духовный В. А. Орошение и освоение Голодной степи. — М.: Колос, 1973.

Духовный В. А., Якубов Х. И. Пути повышения водообеспеченности орошаемых земель Средней Азии. — Обзор УзНИИНТИ, Ташкент, 1983.

Егоров В. В. Почвенно-мелиоративные проблемы в хлопководстве.— Хлопководство, 1967, № 9, с. 31—36.

Егоров В. В. Горизонтальный дренаж: мелкий или глубокий. — Хлопководство, 1971, № 8, с. 36—38.

Егоров В. В. Засоление орошаемых почв и его устранение.— М.: Наука, 1972.

Едгаров Ж. Действие и последействие зеленых удобрений и их влияние на урожай хлопчатника. — В кн.: Сборник научных работ аспирантов СоюзНИХИ, вып. V. Ташкент: изд. СоюзНИХИ, 1964, с. 58—65.

Еременко В. Е. Режим орошения и техника полива хлопчатника.— Ташкент: Изд-во АН УзССР, 1957.

Еременко В. Е. О нижней границе влажности почвы перед поливами хлопчатника.— Хлопководство, 1959, № 12, с. 53—58.

Еременко В. Е. Техника полива хлопчатника при комплексной механизации работ в хлопководстве. — Ташкент: Изд-во АН УзССР, 1960.

Еременко Г. В., Усманов А., Бекмуратов Т. У., Рустамов А. Режим откачек из скважин вертикального дренажа в эксплуатационный период.— Гидротехника и мелиорация, 1974, № 2, с. 75—81.

Иконому Д. А., Умаров А. Солевой режим почвогрунтов на опытно-производственном участке вертикального дренажа в совхозе «Социализм».— Тр. САНИИРИ, вып. 112 (мелиорация земель): Ташкент, 1967, с. 110—134.

Кабаев В. К. Солевыносливость сельскохозяйственных культур.— Социалистическое сельское хозяйство Узбекистана, 1953, № 1, с. 35—38.

Камилов О. К. Мелиорация засоленных почв Узбекистана.— Ташкент: Фан, 1985.

Касьянов А. Е., Шуравилин А. В. Способ промывки засоленных почв.— Авторское свидетельство № 896173. М., 1982а.

Касьянов А. Е., Шуравилин А. В. Способ промывки засоленных почв. — Авторское свидетельство № 935479. М., 1982б.

Кац Д. М. Методы контроля и регулирования режима грунтовых вод в оазисе Узбекистана. — Ташкент, 1957.

Кац Д. М. Режим грунтовых вод в орошаемых районах и его регулирование. — М.: Сельхозиздат, 1963.

Кац Д. М. Влияние орошения на грунтовые воды. — М.: Колос, 1976.

Кенесарин Н. А. Формирование режима грунтовых вод орошаемых районов на примере Голодной степи. — Ташкент, 1959.

Кигай С. Рост, развитие и урожайность хлопчатника при орошении дождеванием в условиях луговых почв Самаркандской области: Автореф. дис. канд. с.-х. наук.— Самарканд, 1970.

Кирейчева Л. Оптимальная глубина рассоления почв при капитальных промывках. — Хлопководство, 1980, № 11, с. 31—33.

Киселева И. К. Опыт мелиоративного регулирования режима грунтовых вод Голодной степи на примере совхоза «Пахтаарал». — В кн.: Вопросы мелиорации Голодной степи. Ташкент, 1957, с. 7—100.

Киселева И. К. Регулирование водно-солевого режима почв Узбекистана. — Ташкент: Фан, 1973.

Киселева И. К., Лифшиц Э. А. Система мелиоративных (опытных) станций СоюзНИХИ.— В кн.: Проблемы мелиорации земель республик Средней Азии и Казахстана. Алма-Ата, 1970, с. 233—243.

Коваль Т., Селяметова М. Вертикальный дренаж в мелиоративном строительстве. — Хлопководство, 1978, № 10, с. 37—39.

Ковда В. А. Краткий очерк геологии и рельефа Голодной степи. — Тр. Почвенного института им. В. В. Докучаева, т. 29. М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1948а, с. 9—17.

Ковда В. А. Грунтовые воды Голодной степи. — Тр. Почвенного института им. В. В. Докучаева, т. 29. М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1948б, с. 43—74.

Ковда В. А. Дренаж в борьбе с засолением орошаемых почв. — В кн.: Применение дренажа при освоении засоленных земель. М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1958, с. 5—16.

Ковда В. А. Научные основы мелиорации почв в СССР. — Почвоведение, 1966, № 11, с. 14—29.

Ковда В. А. Опыт оросительных мелиораций. — В кн.: Мелиорация почв в СССР. М.: Наука, 1971, с. 94—114.

Ковда В. А. Борьба с засолением почв. — В кн.: Борьба с засолением земель. М.: Колос, 1981, с. 7—27.

Ковда В. А. Проблемы борьбы с опустыниванием и засолением орошаемых почв.— М.: Колос, 1984.

Колесов В. Я., Фелициант И. И. Изменение мелиоративного состояния земель центральной части Шурузякского массива под влиянием вертикального дренажа. — Механизация хлопководства, 1970, № 5, с. 7—11.

Коньков В. С., Петров В. К. К изучению режима грунтовых вод в Голодной степи.— Ташкент: Изд-во АН УзССР, 1929.

Костяков А. Н. О расчете длины поливных борозд и полос при орошении. — Докл. ВАСХНИЛ, вып. 1, М., 1939, с. 24—60.

Костяков А. Н. Основы мелиорации. — М.: Сельхозгиз, 1951.

Кривовяз С. М. Расчет полива по бороздам. — Гидротехника и мелиорация, 1961, № 1, с. 12—23.

Кривовяз С. М. О способах равномерного увлажнения почвы при поливе по бороздам. — Хлопководство, 1962, № 1, с. 47—53.

Кривовяз С. М. Некоторые результаты исследований по технике полива на новых землях Голодной степи. — Гидротехника и мелиорация, 1963, № 8, с. 7—16.

Кривовяз С. М. Механизация и районирование техники полива. — Ташкент: Узбекистан, 1966.

Крылов М. М. Гидрогеология Голодной степи. — В кн.: Материалы по производительным силам Узбекистана, вып. 6. Ташкент, 1957, с. 37—60.

Кулиев М., Мамедов Ю., Рагимов Г. Сидеральные и кормовые культуры. — Хлопководство, 1981, № 5, с. 25—26.

Лактаев Н. Т. Теоретическое обоснование технологии полива сельскохозяйственных культур по бороздам. — Тр. ВАСХНИЛ «Техника полива сельскохозяйственных культур». М.: Колос, 1972, с. 68—93.

Лактаев Н. Т. Полив хлопчатника. — М.: Колос, 1978а.

Лактаев Н. Т. К вопросу исследований режима орошения и техники полива хлопчатника по бороздам. — Вопросы гидротехники, 1978б, вып. 28.

Лактаев Н. Т., Шапошников В. Н. Оценка возможности применения орошения дождеванием в Узбекистане. — Тезисы по итогам исследований применения дождевания в хлопковой зоне Средней Азии: Ташкент: изд. СоюзНИХИ, 1976, с. 48—55.

Лев В., Хасанов Д. Поливы тонковолокнистого хлопчатника. — Хлопководство, 1978, № 6, с. 36—37.

Легостаев В. М. Мелиорация засоленных земель. — Ташкент: Госиздат УзССР, 1959.

Легостаев В. М. Борьба с засолением почв при помощи вертикального дренажа. — Хлопководство, 1961, № 9, с. 47—56.

Легостаев В. М. О строительстве горизонтального закрытого дренажа в Голодной степи, бассейнах рек Сурхан, Мургаб, Теджен и других. — Тр. СоюзНИХИ, вып. 8. Ташкент, 1966, с. 5—31.

Легостаев В. М. О гидромодульном районировании и режимах орошения. — Хлопководство, 1982, № 3, с. 33—34.

Легостаев В. М., Коньков Б. С. Мелиоративное районирование.— Ташкент: УзГосиздат, 1950.

Ли Тен Хан, Шуравилин А. В. Развитие хлопчатника в зависимости от продолжительности работы вертикального дренажа. — В кн.: Полезные растения тропиков и субтропиков и перспективы их интродукции в южные районы СССР. М.: Изд-во УДН, 1984, с. 138—142.

Лупанов А., Алещенко В. Вертикальный дренаж в совхозе «Малек». — Сельское хозяйство Узбекистана, 1969, № 12, с. 16—18.

Лянин А. Н. Нормированный полив хлопчатника. — Хлопководство, 1975, № 1, с. 27—30.

Макарова В. С. Роль вертикального дренажа в рассолении земель.— Хлопководство, 1978, № 5, с. 37—39.

Макарова В. С., Нешумов Г. М. Эффективность вертикального дренажа при промывках. — Гидротехника и мелиорация, 1972, № 3, с. 65—69.

Малыгин В. С. Глубокий закрытый дренаж. — Ташкент: Изд-во АН УзССР, 1939.

Мамарасулов В. М. Улучшение мелиоративного состояния земель в старой зоне орошения Голодной степи. — Гидротехника и мелиорация, 1974, № 4, с. 85—89.

Меднис М. П. Принципы дифференциации режимов орошения и гидромодульного районирования. — В кн.: Режимы орошения и гидромодульное районирование по УзССР. Ташкент: Узбекистан, 1971, с. 5—18.

Меднис М. П. Режим орошения и густота стояния хлопчатника. — Ташкент; Фан, 1973.

Меднис М. П., Саттаров Ф. М. Поливные режимы хлопчатника при дождевании для земель с близким и глубоким залеганием грунтовых вод Узбекистана. — Тр. СоюзНИХИ, вып. XXVII, Ташкент: изд. СоюзНИХИ, 1974, с. 92—101.

Минашина Н. Г. Физико-химическая модель расчета нормы воды при промывке засоленных почв. — Почвоведение, 1972, № 3, с. 115—120.

Минашина Н. Г. Мелиорация засоленных почв. — М.: Колос, 1978.

Морозов А. Н., Решетов Г. Г. Основные положения по освоению засоленных земель (при орошении). — В кн.: Вопросы проектирования и исследования эффективности работы гидромелиоративных систем и сооружений. Ташкент: изд. Средазгипроводхлопок, 1980, с. 3—11.

Муратов В. С., Игнатова В. Г., Маргулис В. Ю., Мутузов В. Я. Результаты наблюдений за промывками засоленных почв Голодной степи. — Докл. на III делегат. съезде почвоведов. М.: Наука, 1968.

Мухаммадиев У., Челюканов М. Полив по бороздам при различной степени уплотнения почв. — Хлопководство, 1984, № 8, с. 33—34.

Перозин А. Е. Повышение эффективности, расчет норм и дифференциация промывок засоленных орошаемых земель. — В кн.: Вопросы мелиорации Голодной степи. Ташкент: изд. СоюзНИХИ, 1957, с. 237—301.

Николаев А. В. К теории поливных режимов сельскохозяйственных культур. — Сталинабад. Изд-во АН ТаджССР, 1956.

Осадчи О. А. Влияние размера поливной струи на урожайность хлопчатника по длине борозд. — Тр. ВНИИГиМ, т. 54(1). М.: изд. ВНИИГиМ, 1972, с. 108—114.

Павлов Г. Н. Техника полива и вопросы режима орошения хлопчатника при лотковой оросительной сети в условиях Голодной степи: Автореф. дис. канд. техн. наук. — Ташкент, 1970.

Панков М. А. Процессы засоления и рассоления почв Голодной степи. — Ташкент: Изд-во АН УзССР, 1962.

Панков М. А. Мелиоративное почвоведение: Засоление и заболоченные почвы Средней Азии и их мелиорация — Ташкент: Укитувчив, 1974.

Петров Е. Г. Опыт изучения засоления и меры борьбы с ним в совхозе «Пахтаарал». — Бюл. ВНИИГиМ, 1934, № 3, с. 6—12.

Пиуновский Б. А. Солеустойчивость сельскохозяйственных культур. — Докл. ВАСХНИЛ, вып. 4. М., 1952. с. 18—24.

Преображенская М. В. Водно-солевой баланс почв при дождевании хлопчатника и близком залегании грунтовых вод. — Вестник сельскохозяйственной науки, 1964, № 6, с. 92—101.

Рабочев И. С. Освоение засоленных земель, включенных в севооборот. — Хлопководство, 1951, № 10, с. 41—43.

Рабочев И. С. Мелиорация засоленных земель. — Ашхабад: Изд-во АН ТССР, 1964.

Рабочев И. С. Регулирование солевого режима почв и грунтов в условиях орошаемого земледелия. — В кн.: Проблемы преобразования природы Средней Азии. М.: Колос, 1967, с. 54—60.

Рамазанов А., Калимбетов К. Опыт промывки и освоения солончаков. — Хлопководство, 1975, № 11, с. 17—19.

Рафиков А. А. Природно-мелиоративная оценка земель Голодной степи. — Ташкент: Фан, 1976.

Рачинский А. Л. К вопросу о совершенствовании техники полива на новых землях. — Хлопководство, 1975, № 3, с. 32—35.

Рекс Л. М. Прогноз переноса солей. — Гидротехника и мелиорация, 1972, № 10, с. 60—65.

Решеткина Н. М. Вертикальный дренаж на орошаемых землях. — Ташкент: изд. Ин-та водных проблем, 1965.

Решеткина Н. М. О проектировании мелиоративных режимов на орошаемых землях. — В кн.: Борьба с засолением орошаемых земель. М.: Колос, 1967, с. 162—185.

Решеткина Н. М. Вертикальный дренаж на орошаемых землях аридной зоны. — Вопросы гидротехники, 1969, вып. 30, с. 23—36.

Решеткина Н. М., Баров В. А., Якубов Х. Вертикальный дренаж орошаемых земель. — М.: Колос, 1966.

Решеткина Н. М., Якубов Х. И. Вертикальный дренаж. — М.: Колос, 1978.

Решеткина Н. М., Якубов Х. И. Вертикальный дренаж. — В кн.: Борьба с засолением земель.— М.: Колос, 1981, с. 103—147.

Решеткина Н. М., Якубов Х. И., Кадыров Х. А. Вертикальный дренаж в Узбекистане.— В кн.: Ирригация Узбекистана. Ташкент: Фан, 1981, с. 315—335.

Решетов Г., Морозов А. Особенности промывок и сельскохозяйственное освоение засоленных гипсоносных почв. — Хлопководство, 1981, № 12 с. 33—35.

Розанов А. Н. Почвы Голодной степи. — Тр. Почвен. ин-та им. В. В. Докучаева, т. 29. М.; Л.: 1948а, с. 283—323.

Розанов А. Н. Сероземы Средней Азии.— М.: Изд-во АН СССР, 1951.

Розов Л. П. Мелиоративное почвоведение.— М.: Сельхозгиз, 1956.

Рустамов А. Р., Беспалов Н. Ф., Саттаров Ф. Основные итоги и направление исследований по дождеванию хлопчатника.— Тезисы по итогам исследований применения дождевания в хлопковой зоне Средней Азии. Ташкент: изд. СоюзНИХИ, 1976, с. 8—14.

Рыжов С. Н. Орошение хлопчатника в Ферганской долине.— Ташкент: Изд-во АН УзССР, 1948.

Рыжов С. Н. Причины высокого естественного плодородия светлых сероземов Голодной степи.— Почвоведение, 1952, № 12, с. 1082—1088.

Рыжов С., Беспалов Н. Принципы режима орошения сельскохозяйственных культур и гидромодульного районирования орошаемой территории. — Хлопководство, 1980, № 10, с. 25—28.

Сабиров А. Г., Броницкий Н. И. Опыт эксплуатации скважин вертикального дренажа в Голодной степи.— Гидротехника и мелиорация, 1973, № 6, с. 82—86.

Сагатов Н. М., Мирсаганов Г. А., Ким В. И. Эффективность вертикального дренажа в Голодной степи. — Гидротехника и мелиорация, 1975, № 3, с. 91—95.

Саттаров Ф. М. Режим орошения хлопчатника при дождевании на луговых почвах с близким залеганием пресных грунтовых вод.— Тр. СоюзНИХИ, вып. 14, 1966, с. 128—142.

Саттаров Ф. М. Механизация бороздкового полива.— Хлопководство, 1973, № 7, с. 29—30.

Сидько А. А., Мясищев С. И., Баякина В. П., Симонова Т. И. Комплексная мелиорация солончаковых и солонцовых почв при орошении.— М.: Агропромиздат, 1985.

Симонова Т. Эффективность опреснительного режима.— Хлопководство, 1977, № 5, с. 34—37.

Спицын А. К., Шуравилин А. В. Мелиорация засоленных земель в совхозе «Пахтаарал».— М.: Колос, 1977.

Столяров А. И. Водный и солевой режим почв и грунтов на фоне вертикального дренажа в условиях Средней левобережной части Бухарской дельты реки Заравшан: Автореф. дис. канд. с.-х. наук.— Ташкент, 1975.

Умаров М. У. Физические свойства почв районов нового перспективного орошения Узбекской ССР. — Ташкент; Фан, 1974.

Федоров Б. В. Агромелиоративное районирование зоны орошения Средней Азии.— Ташкент; Изд-во АН УзССР, 1953.

Федоров Б. В. О повышении эффективности промывок засоленных земель. — Хлопководство, 1961, № 10, с. 39—44.

Федоров Б. В. О промывке засоленных земель.— Хлопководство, 1964, № 6, с. 38—41.

Хамраев Н. Р., Караев В., Мамонтов А. В. Опыт строительства вертикального дренажа в Узбекистане.— Гидротехника и мелиорация, 1969, № 11, с. 18—28.

Ходжибаев Н. Н. Гидрогеолого-мелиоративное районирование.— Ташкент: Фан, 1975.

Ходжибаев Н. Н., Алимов М. С. Региональный водно-солевой баланс Голодной степи.— Ташкент: Фан, 1966.

Челюканов М. Д. Опыт полива хлопчатника по длинным бороздам.— Вопросы гидротехники, вып. 9. Ташкент, 1962, с. 23—31.

Челюканов М. Д. Полив хлопчатника по бороздам в колхозе «Большевик» (Алтаарыкский р-н Ферганской области). — Хлопководство, 1970, № 6, с. 39—40.

Шахов А. А. Солеустойчивость растений. — М.: Изд-во АН СССР, 1956.

Шейнкин Г. Ю. Техника и организация орошения в Таджикистане.— Душанбе: Ирфон, 1970.

Шейнкин Г., Осадчи О., Рахметилоев Р., Исомутдинов С. Сосредоточенные поливы: особенности организации и технико-экономические преимущества. — Хлопководство, 1985, № 1, с. 12—16.

Шейнкин Г. Ю., Гордеев В. Б. Оптимизация выбора технических средств при поверхностном орошении в аридной зоне.— В кн.: Технология орошения и программирования урожая. М.: изд. ВНИИГиМ, 1986, с. 33—41.

Шредер В. Р. О поливной норме. — Хлопководство, 1963, № 2, с. 42—44.

Шредер В. Р. и др. Расчетные значения оросительных норм сельскохозяйственных культур в бассейнах рек Сырдарьи и Амударьи.— Ташкент; изд. Средазгипроводхлопок, 1970.

Шуравилин А. В. Расчет водопотребления хлопчатника при орошении в условиях Голодной степи. — В кн.: Экологические аспекты тропической агрономии. М.: изд. УДН, 1980, с. 109—117.

Шуравилин А. В. Водопотребление и режим орошения хлопчатника.— Хлопководство, 1982а, № 4, с. 30—32.

Шуравилин А. В. Техника полива по бороздам.— Хлопководство, 1983. № 5, с. 36—39.

Шуравилин А. В. Рациональное использование оросительной воды.— Хлопководство, 1984а, № 5, с. 35—38.

Шуравилин А. В. Преимущество планового водопользования. — Хлопководство, 1984б, № 6. С. 35—38.

Эминов С. А. Эффективность промывки тяжелых засоленных почв с применением растворов минеральных кислот в условиях Карабахской степи.— Тр. АзНИИГиМ, 1973, т. 10, с. 5—69.

Юлдашев Г. Д. Мелиоративная эффективность вертикального дренажа и разработка оптимального режима его работы: Автореф. дис. канд. с.-х. наук. — Ташкент, 1980.

Якубов Х. И., Корелис Л. Л. Краткие итоги исследований системы вертикального дренажа в совхозе «Пахтаарал» (1961—1969 гг.). — Сб. науч. тр. САНИИРИ, вып. 132, Ташкент, 1971, с. 3—29.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение 3

Глава I. **Факторы формирования и регулирования водно-солевого режима почв** 5

Природные условия Голодной степи 5

Современное мелиоративное состояние орошаемых земель . 11

Водный режим орошаемых почв 15

Солевой режим орошаемых почв 20

Глава II. **Дренаж — важнейшее средство регулирования режима грунтовых вод и водно-солевого режима орошаемых почв** 26

Оптимизация режима работы вертикального дренажа в мелиоративный и эксплуатационный периоды 26

Водно-солевой режим почв на фоне горизонтального дренажа 57

Глава III. **Промывка засоленных земель — важнейший фактор регулирования водного и солевого режимов орошаемых почв** 65

Эффективность промывок в зоне старого и нового орошения . 65

Влияние способов обработки почвы на повышение эффективности профилактических промывок 80

Дифференциация норм эксплуатационных промывок в зависимости от интенсивности дренирования земель 85

Глава IV. **Регулирование водного и солевого режимов почв при орошении** 94

Режим орошения хлопчатника 94

Элементы техники бороздкового полива 117

Эффективность полива хлопчатника дождеванием . . . 133

Глава V. **Мелиоративные приемы ускоренного рассоления и повышения плодородия сильнозасоленных трудномелиорируемых почв** 137

Рассоление почв на фоне глубокого рыхления и временного дренажа 137

Эффективность внесения структурообразователей при капитальной промывке сильнозасоленных трудномелиорируемых почв . 150

Влияние различных схем мелиоративного рыхления на эффективность промывки гипсоносных почв 156

Повышение плодородия почв после капитальной промывки путем возделывания культур-освоителей 173

Выводы и рекомендации 181

Литература 184