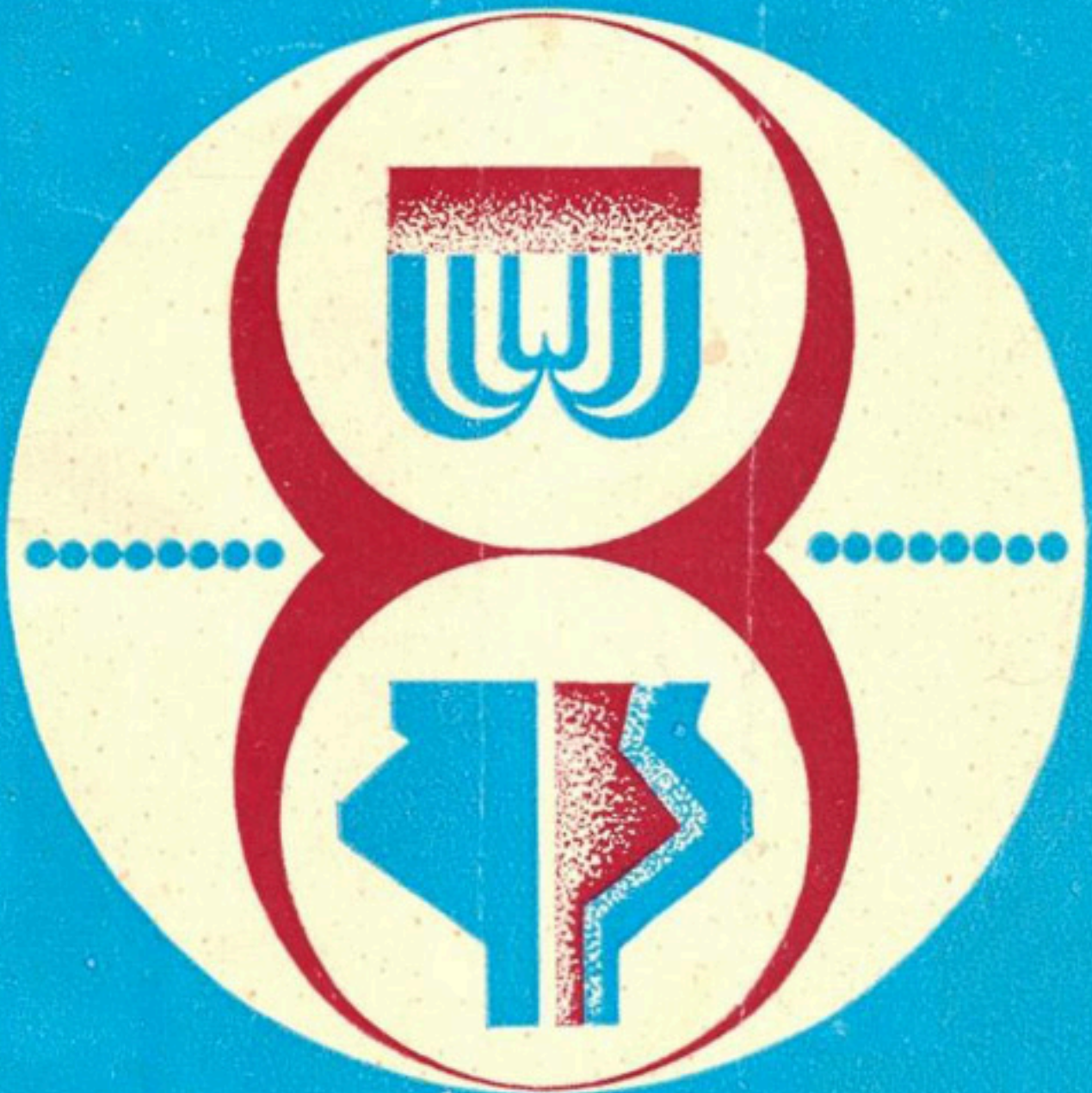
И.К. Дуюнов

Мелиорация земель в условиях напорного питания грунтовых вод



И. К. Дуюнов

Мелиорация земель в условиях напорного питания грунтовых вод

МОСКВА «КОЛОС» 1978

631.6
Д86
УДК 626.86 : 631.432

Дуюнов И. К.

Д 86 Мелиорация земель в условиях напорного питания грунтовых вод. — М.: Колос, 1978. — 191 с., ил.

В книге рассмотрены особенности работы горизонтального дренажа в условиях напорного питания грунтовых вод. Изложены принципы расчета и проектирования осушающего и рассоляющего почвы дренажа. Показаны различные способы рассоления земель с помощью промывок, опреснительного режима орошения, осенних профилактических поливов.

Рассчитана на гидротехников, мелиораторов, специалистов службы эксплуатации оросительных систем.

Д $\frac{40305—265}{035(01)—78}$ 56—78

631.6

© Издательство «Колос», 1978

Предисловие

Аграрная политика КПСС на современном этапе направлена на обеспечение устойчивого подъема сельского хозяйства. Один из узловых вопросов этой политики — осуществление долговременной комплексной программы мелиорации земель. Утвержденные XXV съездом КПСС «Основные направления развития народного хозяйства СССР на 1976—1980 годы» в области мелиорации земель предусматривают ускоренную интенсификацию сельского хозяйства за счет увеличения площади орошаемого земледелия в районах юго-востока европейской части РСФСР, на Северном Кавказе, юге Украины, в Молдавии, Казахстане, республиках Средней Азии и Закавказья и внедрения достижений науки и техники в мелиорацию, обеспечивающих дальнейшую индустриализацию ввода хозяйственного строительства и эксплуатационных работ, применение прогрессивной техники полива, автоматизацию и механизацию управления мелиоративными системами.

В принятом постановлении ЦК КПСС и Совета Министров СССР «О плане мелиорации земель на 1976—1980 годы и мерах по улучшению использования мелиорированных земель» определены конкретные задания по обновлению земель, более эффективному их использованию, значительному увеличению производства сельскохозяйственной продукции на этих землях.

На мелиорацию земель и их сельскохозяйственное освоение в десятой пятилетке выделяются государственные капитальные вложения в объеме 38,667 млн. руб.

Для увеличения производства валовой продукции на мелиорируемых землях требуются научно обоснованные мероприятия по мелиорации земель, создание таких мелиоративных систем, которые обеспечивали бы наиболее благоприятные условия для произрастания сельскохозяйственных культур и получения гарантированных высоких урожаев при минимальных затратах труда.

Настоящая работа посвящена актуальной проблеме — теории и практике мелиорации земель на примере Чуйской долины Киргизской ССР, одной из типичных межгорных впадин Средней Азии. В книге систематизированы и обобщены данные многолетних (с 1955 г.) исследований эффективности работы горизонтального дренажа и промывки засоленных земель в Чуйской долине, выполненные во Всесоюзном научно-исследовательском институте комплексной автоматизации мелиоративных систем (ВНИИКАМС) Всесоюзного научно-производственного объединения «Союзводавтоматика» и в ряде научно-исследовательских организаций Киргизской ССР. С 1957 г. эти исследования входили в комплексные водобалансовые и мелиоративные исследования отдела технологии и техники мелиорации земель ВНИИКАМС, выполненные под руководством и при участии М. И. Каплинского.

В книге показана возможность применения гидротехнических мелиораций: промывок, опреснительного режима орошения, профилактических поливов на фоне дренажных систем. Дана технико-экономическая оценка различных способов мелиорации и освоения земель. Изучение работы дренажных систем при различных схемах питания позволило разработать мероприятия по мелиорации земель в условиях напорных вод Чуйской долины.

Автор выражает глубокую благодарность руководителю отдела технологии и техники мелиорации земель ВНИИКАМС кандидату технических наук М. И. Каплинскому, кандидату технических наук Л. К. Госсу, сотрудникам отдела, принимавшим участие в исследованиях.

Автор признателен сотрудникам проектного института «Киргизгипроводхоз» А. С. Эзафович и В. И. Федотову, декану гидромелиоративного факультета КиргСХИ им. К. И. Скрябина доктору технических наук Я. В. Бочкареву, доктору геолого-минералогических наук Д. М. Кацу и кандидату технических наук И. П. Айдарову за их ценные замечания, которые способствовали улучшению книги.

I. ПРИРОДНЫЕ УСЛОВИЯ ЧУЙСКОЙ ДОЛИНЫ, ОСНОВНЫЕ ЗАДАЧИ И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

ФИЗИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ

Чуйская долина расположена в среднем течении р. Чу между Киргизским хребтом и отрогами Заилийского Ала-Тоо (Чу-Илийскими горами). Горные системы сближаются на востоке (их разделяет только Боомское ущелье, по которому протекает р. Чу) и расходятся в западном направлении, открывая долину в сторону песчаной пустыни Мойынкум. Такое положение долины определяет ее как типичную подгорную зону. Рекой она делится на две неравные части—левобережную, широкую, входящую в территорию Киргизской ССР, и правобережную, узкую, входящую в территорию Казахской ССР. В пределах Киргизской ССР длина Чуйской долины до 200 км, ширина от 5—10 км в восточной части до 40—60 км в западной. Общая площадь около 600 тыс. га.

В Чуйской долине выделяются горная область и область межгорной впадины. Межгорная впадина представляет собой плоскую равнину, слабонаклонную с юго-востока на северо-запад. В пределах межгорной впадины выделяются следующие виды рельефа.

Предгорный шлейф, представляющий собой волнистые крутонаклонные подгорные равнины, с уклонами от 0,05—0,03 до 0,01—0,02.

Пролювиально-аллювиальная слабонаклонная равнина с ровным и спокойным рельефом в южной части и увалистым слабоволнистым в северной, с уклонами от 0,01 до 0,001. Эта равнина занимает основную часть Чуйской долины. Она представлена зоной аккумуляции мелкообломочных отложений, расчленена многочисленными неширокими и неглубокими долинами родниковых ручьев—карасу. Северная часть равнины имеет слабоволнистый рельеф с уклонами 0,0035—0,005, расчленена долинами сухих саев.

Увалистовсхолмленный рельеф, участки которого резко выражены в низовьях рр. Аламедин-Ала-Арча и Сокулук-Карабалты. Глубокие речные долины прорезают широкие увалы в меридиональном направлении. Уклоны поверхности—0,004.

Современная долина р. Чу занимает сравнительно узкую полосу современного русла р. Чу. В восточной части она представляет собой крутонаклонную, а в западной—слабонаклонную равнину. Уклоны поверхности меняются от 0,01 у Боомского ущелья до 0,003—0,002 на границе с Казахской ССР.

По Чуйской долине протекают многочисленные реки, стекающие с северного склона Киргизского хребта, — Чу, Красная, Черная и др. По типу питания реки Чуйской долины разделяются на три основные группы: снежно-ледникового, снежно-ливневого и родникового питания.

КЛИМАТИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ

Климатические особенности Чуйской долины определяются своеобразием естественноисторических условий. Здесь отмечается четко выраженная вертикальная зональность в распределении осадков, температуры, влажности, ветрового режима и т. п. Так, с увеличением высоты местности увеличиваются количество осадков, влажность воздуха и другие явления, связанные с конденсацией водяного пара.

Климат равнинной части Чуйской долины континентальный. Безморозный период длится, по среднемноголетним данным, до 185 дней, сумма положительных температур за этот период 3550—3940°С. Максимум среднемесячных температур воздуха 23,6°С, минимум—5,1°С. Среднегодовая температура воздуха 9,5°С. Температура почвы в зимнее время с глубиной повышается, в летнее время—понижается. Годовой ход температуры почвогрунтов соответствует годовому ходу температуры воздуха, но с увеличением глубины кривая температур выравнивается, повторяя годовой ход температур у поверхности с некоторым запозданием.

Максимум среднемесячных температур поверхности почвы 30,2°С, минимум—8,5°С. Среднегодовая температура составляет 11,2°С. Абсолютная влажность воздуха следует за ходом температуры. Минимум ее наблюдается зимой, максимум летом. Относительная влажность воздуха достигает наивысшего значения зимой. Среднегодовая относительная влажность 64,5%. Максимум осадков бывает весной, свыше 40% годовой нормы, которая составляет 400—490 мм. Ветры в Чуйской долине всех направлений, с преобладанием западного и южного. Среднегодовая скорость ветра 1,9 м/с.

В таблице 1 приведены метеорологические данные по четырем метеостанциям Чуйской долины: Чуйской, Беловодской, Фрунзе и Токмак.

Приведенные метеорологические данные позволяют сделать следующие выводы: количество выпадающих осадков недостаточно для ведения высокопродуктивного земледелия, поэтому необходимо орошение; значительное испарение при близком залегании минерализованных грунтовых вод способствует выносу солей в верхние горизонты и засолению почвогрунтов.

ГЕОЛОГИЯ И ГИДРОГЕОЛОГИЯ

Северные склоны Киргизского хребта сложены изверженными (граниты), метаморфическими (сланцы-конгломераты, песчаники, реже известняки) породами палеозойского возраста.

Предгорья представлены песчаниками, конгломератами, пестроцветными глинами и песчано-глинистыми породами, галечниками, а также отложениями соленосных пород: галита, мирабилита, глауберита и др. Третичные отложения прикрыты с поверхности древнечетвертичными породами, в большинстве своем валунно-галечными, часто слабоцементированными и мелкоземистыми образованиями, достигающими значительной мощности. К четвертичным отложениям относятся также и делювиальные покровы.

Межгорная впадина сложена рыхлыми отложениями четвертичного возраста, мощность которых измеряется несколькими сотнями метров.

Предгорный шлейф (крутонаклонная равнина) сложен рыхлыми

Таблица 1. **Среднемноголетние метеорологические данные** (по М. И. Каплинскому, В. В. Карташову)

Показатели	Месяцы												Итого за период		
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	XI—III	IV—X	год
Температура воздуха, °С	—5,1	—2,8	3,8	11,5	16,9	20,3	23,6	21,9	16,7	9,9	1,4	—4,1	—1,4	17,3	9,5
Температура поверхности почвы, °С	—8,5	—4,7	4,0	13,7	21,0	26,5	30,2	27,2	19,5	10,2	1,0	—5,0	—2,7	21,2	11,2
Абсолютная влажность почвы, мм	3,3	4,0	5,8	8,4	11,2	13,3	14,5	13,1	9,5	6,8	4,9	3,6	4,3	11,0	8,2
Относительная влажность воздуха, %	75,2	76,7	74,7	65,0	60,0	55,0	51,2	51,7	54,0	62,2	72,7	75,7	75,0	57,2	64,5
Количество осадков, мм	22,2	25,0	49,0	64,0	59,5	37,2	17,7	11,7	14,7	35,7	37,2	25,7	159,2	240,7	400,0
Скорость ветра, м/с	1,7	1,8	2,1	2,2	2,1	2,1	1,9	1,7	1,8	1,7	1,7	1,7	1,8	1,9	1,9
Модуль испаряемости по температуре воздуха, мм/°С	—	—	—	0,24	0,24	0,27	0,29	0,29	0,29	0,28	—	—	—	0,27	0,34
Испаряемость по Н. Н. Иванову, мм	20,0	21,0	40,7	83,7	131	169	216	199	144	86	36	21	138	1030	1169

крупнообломочными материалами пролювиально-делювиальных и пролювиально-аллювиальных отложений, представленных в основном валунно-галечными породами мощностью 250—700 м с различным содержанием гравия и песка, прикрытых с поверхности мелкоземом мощностью от 0 (в долинах горных речек), 1—3 м (на конусах выноса) до 10—20 м(в межконусных пространствах).

Пролювиально-аллювиальная (слабонаклонная) равнина, генетически связанная с предгорным шлейфом, также заполнена четвертичными отложениями, но преимущественно мелкообломочными породами: супесями, лессовидными суглинками и глинами, с прослойками галечников и песчано-гравийных пород, которые играют подчиненную роль и встречаются в виде тонких прослоек на глубинах 30—80 м и более. Это связано с резким уменьшением уклона при переходе от предгорного шлейфа к слабонаклонной равнине. Причем с продвижением от предгорий на север к современной долине р. Чу количество мелкообломочных образований постепенно возрастает в сторону преобладания пылеватых и глинистых фракций. Доля же крупнообломочных включений уменьшается, то есть прослои и линзы галечников сменяются прослоями песчано-гравийных пород, песков и супесей.

Литологическое строение увалисто-всхолмленного рельефа характеризуется резким уменьшением крупнообломочных прослоев, которые представлены песками, а гравийно-галечниковые породы встречаются как исключение.

Современная долина р. Чу сложена аллювиальными породами, переслоенными галечниками, песками и песчано-гравийными породами и прикрытыми сверху суглинистыми и болотными отложениями. Таким образом, геологическое строение Чуйской долины способствует формированию напорных подземных вод.

В гидрогеологическом отношении Чуйская долина по П. Г. Григоренко подразделяется на четыре характерные зоны: 1) зона фильтрации поверхностных вод и формирования подземного потока; 2) зона выклинивания и неглубокого залегания грунтовых вод, делящаяся на две подзоны—интенсивного и слабого выклинивания грунтовых вод; 3) зона транзитного стока грунтовых вод или вторичного погружения грунтовых вод; 4) современная долина р. Чу (азональные воды). Эти зоны объединяются двумя районами. В первый район входит первая зона. Во второй район входят остальные три зоны; он представляет район единого напорного комплекса подземных вод (рис. 1).

Зона фильтрации поверхностных и формирования подземных вод полностью совпадает с предгорным шлейфом. Поверхностные воды здесь фильтруются через мощные галечниковые отложения и, доходя до водоупора, образуют подземный поток, движущийся в направлении с юго-востока на северо-запад к естественной дрене—р. Чу. Ввиду того, что грунтовые воды залегают очень глубоко и имеют хорошие условия для внутреннего оттока, возможность заболачивания и засоления земель совершенно исключена.

Зона выклинивания и неглубокого залегания грунтовых вод приурочена к южной части пролювиально-аллювиальной равнины. Грунтовые воды залегают на глубинах от 0—0,5 до 4—6 м. Рассматриваемая зона условно подразделяется на две подзоны: южную и северную. Южная—подзона интенсивного выклинивания грунтовых вод. Она расположена в районе карасу. Для нее характерны хорошо развитая дренирующая сеть и наличие напорных водоносных горизон-

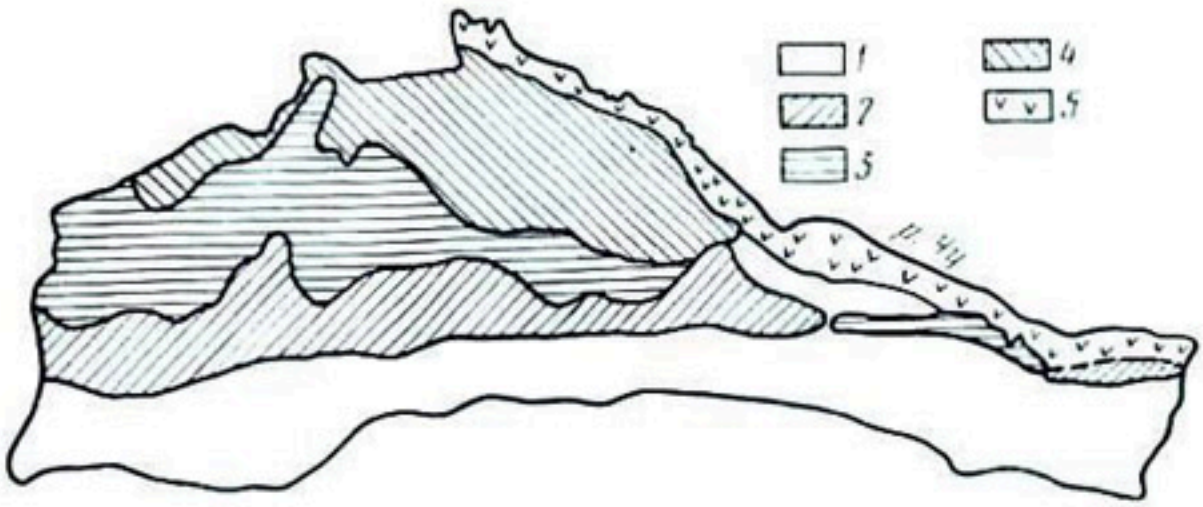


Рис. 1. Схематическая карта Чуйской долины с нанесением гидрогеологических зон:

1 — зона фильтрации поверхностных вод и формирования подземного потока; *2* — подзона интенсивного выклинивания грунтовых вод; *3* — подзона слабого выклинивания грунтовых вод; *4* — зона транзита и вторичного погружения грунтовых вод; *5* — зона современной долины р. Чу.

тов с высокими пьезометрическими уровнями, обеспечивающими самоизлив. В связи с интенсивным выклиниванием грунтовых вод наблюдается заболачивание земель. Северная подзона—подзона слабого выклинивания грунтовых вод. Она характеризуется слабой степенью дренированности, затрудненным подземным оттоком, невысокими пьезометрическими уровнями.

Зона транзита, или вторичного погружения грунтовых вод, расположена в северной части слабонаклонной пролювиально-аллювиальной равнины и в районе увалисто-долинного рельефа. Она характеризуется глубоким залеганием грунтовых вод (до 10—15 м) и низкими пьезометрическими уровнями в напорных водоносных горизонтах. Грунтовые воды под влиянием орошения поднимаются к поверхности земли, что приводит к вторичному засолению почвогрунтов.

Современная долина р. Чу представляет зону вторичного выклинивания подземных вод, глубина их залегания от 0—1 до 2 м.

Распределение земель Чуйской впадины в зависимости от глубины залегания грунтовых вод показано в таблице 2. Режим грунтовых вод Чуйской долины определяется климатическими условиями, поверхностным стоком и особенностями гидрогеологического строения. Выделены следующие режимы грунтовых вод: климатический, ирригационный, речной, гидрогеологический, смешанный.

Напорность подземные воды приобретают в полосе переходной от предгорного шлейфа к пролювиально-аллювиальным равничам в связи с перекрыванием водопроницаемых слоев водоупорными и образованием языков, сложенных из крупнообломочных материалов среди мелкоземистой толщи (рис. 2). Подземный поток, двигаясь со стороны Киргизского хребта, попадает в эти языки и под влиянием гидродинамического давления вышерасположенных масс подземных вод приобретает напорность.

Наибольшая напорность наблюдается в южной части пролювиально-аллювиальной равнины (сазовая зона), так как путь фильтрации здесь короткий (считая от зоны формирования напорных подземных вод), водопроводящие свойства водоносных горизонтов хорошие. Пьезометрические уровни устанавливаются выше поверхности

Таблица 2. **Распределение земель Чуйской долины в зависимости от глубины залегания грунтовых вод** (по А. А. Межову), га

Гидрогеологические зоны	Всего	Глубина залегания уровня грунтовых вод, м					
		0—1	1—2	2—3	3—5	5—10	10 и более
Общая площадь, га	591 940	32 520	95 460	102 460	42 380	72 640	246 480
%	100	5,5	16,2	17,5	7,1	12,1	41,6
В том числе:							
Зона формирования подземного стока	240 410	—	—	—	—	8 660	231 760
Зона выклинивания и неглубокого залегания грунтовых вод	216 400	19 550	79 250	96 440	18 420	2 740	—
Зона транзита грунтовых вод	108 670	310	2 410	6 020	23 960	61 240	14 730
Современная долина р. Чу	26 460	12 660	13 800	—	—	—	—

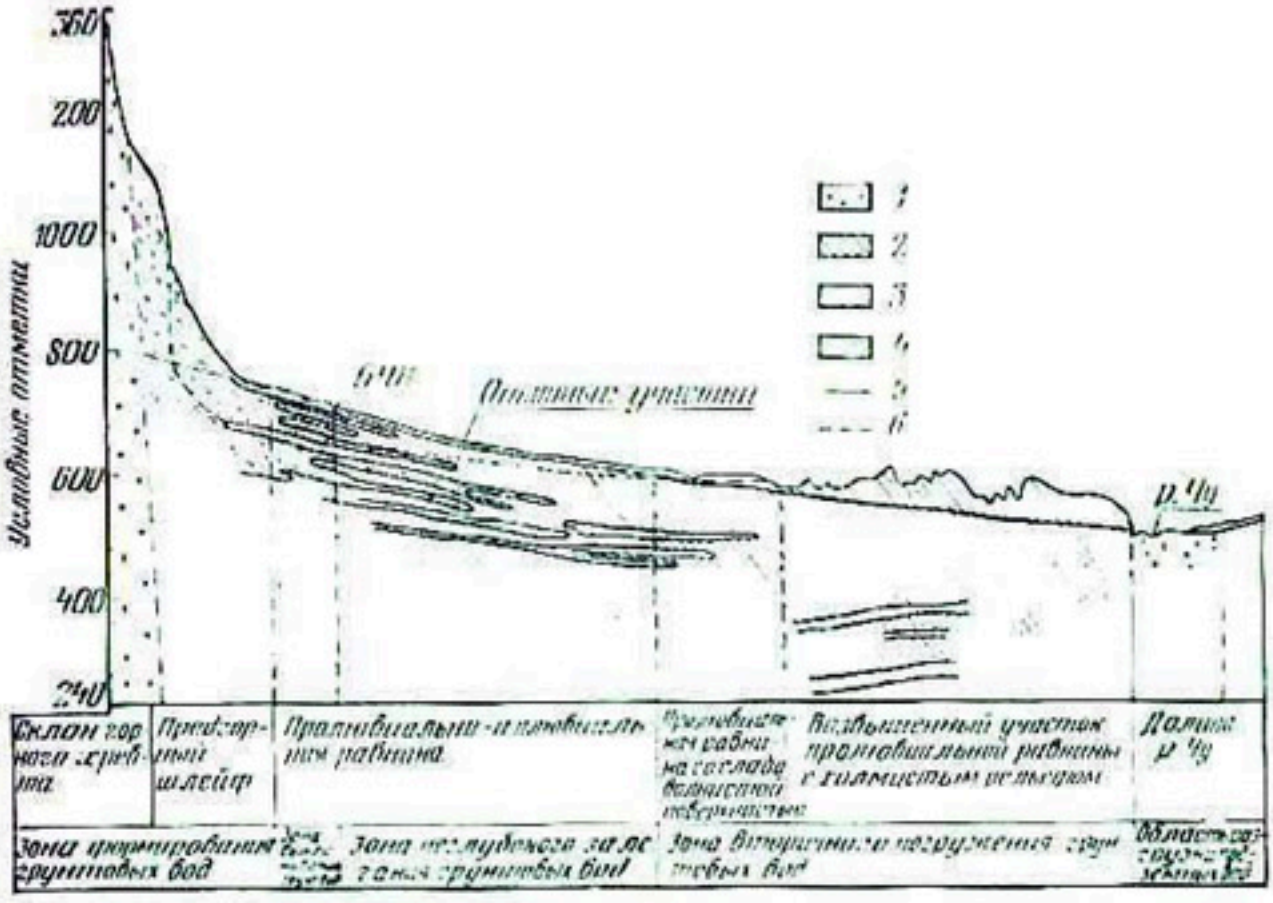


Рис. 2. Гидрогеологический профиль Чуйской долины:
1 — граниг; *2* — суглинок; *3* — песок; *4* — галечник с гравием и песком; *5* — уровень грунтовых вод; *6* — возрастная граница.

земли (на 12—15 м при глубине скважины около 200 м). В направлении от предгорного шлейфа на север пьезометрические уровни понижаются и уже на территории причуйских равнин (зона транзитного стока) устанавливаются ниже поверхности земли. Самоизлив наблюдается редко. Водообильность напорных подземных вод уменьшается как и напорность: наибольшая в южной части пролювиально-аллювиальной равнины (удельный дебит скважины 10—12 л/с) и наименьшая на территории причуйских равнин (удельный дебит 0,1—0,5 л/с).

МИНЕРАЛИЗАЦИЯ ГРУНТОВЫХ ВОД

Грунтовые воды Чуйской долины обладают пестрой минерализацией, но на общем фоне довольно четко устанавливается закономерное изменение степени и характера минерализации от гор в сторону долины р. Чу.

В зоне формирования грунтового потока минерализация грунтовых вод от 0,1—0,3 до 0,3—1,0 г/л. Преобладающий тип минерализации гидрокарбонатный кальциевый, магниевый, силикатно-натриевый (магниевый, кальциевый), на периферии вблизи выклинивания грунтового потока появляются хлориды и сульфаты.

В зоне выклинивания грунтового потока (сазовая зона) сложность гидрогеологических, геологических и геоморфологических условий ведет к резкому изменению условий минерализации грунтовых

вод. В результате сильного испарения и нагревания грунтовых вод, обогащенных углекислотой (растворимость которой резко снижается при повышении температуры воды), происходит выпадение в осадок карбонатов и силикатов кальция и магния. Это ведет к образованию на границе уровней залегания грунтовых вод мощного омергелеванного слоя. Минерализация грунтовых вод становится довольно пестрой — от 0,3—0,5 до 5—10 г/л, а тип ее меняется на содовый (бикарбонаты и карбонаты натрия), содово-сульфатный, сульфатный, реже хлоридный. Высокая щелочность и сильное испарение способствуют широкому развитию солонцовых и содово-солончаковых процессов.

В зоне вторичного погружения грунтового потока минерализация от 3—5 до 10—15 г/л, тип минерализации — сульфатный и хлоридный. В этой зоне отмечается увеличение минерализации не только в направлении с юга на север, но и с востока (1—2 г/л) на запад (5—10 г/л).

В современной долине р. Чу глубина залегания грунтовых вод колеблется от 0—0,5 до 2—3 м, степень минерализации — от пресной (0,5—1,0 г/л) до слабой (2—5 г/л). Грунтовые воды прирусловой поймы р. Чу нередко обладают высокой щелочностью, обусловливающей развитие солонцовых и содово-солончаковых процессов. Тип минерализации — гидрокарбонатно-сульфатный, сульфатный, реже хлоридно-сульфатный. Грунтовые воды этой зоны постепенно транспортируются в р. Чу и выносятся в пустыни.

Таким образом, на север от гор общая минерализация грунтовых вод возрастает. Различный литологический состав пород, разная их водопроницаемость, различные условия питания и дренированности территории определяют пестроту минерализации, которая находится в пределах 1—25 г/л. Наибольшая ее величина приурочена к участкам слабодренированным. Напорные подземные воды — пресные (0,15—0,30 г/л), что свидетельствует о хорошем водообмене и промытости вмещающих пород. Верхние слои напорных вод более минерализованы, на глубине 10—15 м они имеют практически постоянную минерализацию.

ПОЧВЫ

На территории Чуйской долины выделены следующие типы почв: черноземы, каштановые, сероземы северные, луговые, болотные, солончаки, солонцы.

Черноземы распространены на склонах Киргизского Ала-Тоо и в долинах. В связи с хорошей дренированностью территории нет засоленных почв. Каштановые почвы распространены в нижних частях северного склона Киргизского Ала-Тоо.

Сероземы северные распространены вдоль Чуйской долины. В зоне сероземов находится пояс выклинивания грунтовых вод с комплексом гидроморфных почв и широким развитием процессов засоления и осолонцевания почв. Сероземы северные делятся на светлые, обыкновенные и лугово-сероземные. Сероземы северные обыкновенные распространены в предгорном шлейфе, в процессе их почвообразования грунтовые воды не участвуют.

Сероземы северные светлые приурочены к северной и северо-западной частям Чуйской долины. В их почвообразовании активное участие принимают грунтовые воды с минерализацией 10—15 г/л

сульфатного и гидрокарбонатно-сульфатного типа. По механическому составу — это лессовидные суглинки, засоленные на значительную глубину (до 10—15 м) с несколько опресненным верхним (1—1,5 м) слоем. По степени засоления преобладают среднезасоленные, солончаковатые и солончаковые.

Лугово-сероземные почвы распространены вдоль северной границы северных обыкновенных сероземов и южной границы светлых сероземов, а также очагами в сазовой зоне. Грунтовые воды залегают на глубине 3—5 м, сульфатного и гидрокарбонатно-сульфатного типа с плотным остатком от 0,5—1,0 до 5—10 г/л. По механическому составу эти почвы отнесены к среднесуглинистым и тяжелосуглинистым разновидностям.

Луговые почвы подразделяются на сероземно-луговые (сазовые и аллювиальные), луговые светлые и темные (сазовые и аллювиальные) и болотно-луговые (сазовые и аллювиальные).

Сероземно-луговые почвы занимают наиболее значительные площади среди других почв речных пойм сазовой зоны Чуйской долины. Эти почвы формируются при близком залегании пресных или минерализованных вод с гидрокарбонатной, гидрокарбонатно-сульфатной или хлоридно-сульфатной минерализацией. По типу засоления указанные почвы могут быть незасоленными, содово-сульфатными, содово-хлоридными, хлоридно-сульфатными. Грунтовые воды залегают на глубине 1,5—2,5 (3,0) м.

Луговые почвы формируются в сазовой зоне и долинах рек Чуйской долины при близком (1—2 м) стоянии грунтовых вод. Здесь широко развиты комплексы незасоленных почв и почв разной степени засоления и солонцеватости вплоть до пятен солончаков и солонцов. Грунтовые воды хлоридно-сульфатно-натриевого и сульфатно-натриевого типа имеют слабую и среднюю минерализации. Болотно-луговые почвы формируются в комплексе с луговыми почвами в поймах рек и сазовой зоне при глубине залегания грунтовых вод 1,2—1,8 м, преимущественно пресных (0,8—1,0 г/л) или слабоминерализованных (1—3 г/л), смешанно-карбонатной или хлоридно-сульфатной минерализацией. Почвогрунты преимущественно слабо- и среднезасоленные, реже сильнозасоленные; по глубине залегания солевого горизонта солончаковатые и солончаковые.

Болотные почвы формируются в отрицательных элементах рельефа сазовой зоны, на пойменных и нижних надпойменных террасах рек с глубиной залегания грунтовых вод 0—1 м гидрокарбонатного, смешанно-карбонатного или хлорида-сульфатного типа минерализации. Болотные почвы подразделяются на лугово-болотные, иловато-болотные, болотные, болотно-торфянистые и торфянистые.

ЗАСОЛЕНИЕ ПОЧВОГРУНТОВ

По степени и типу засоления почв принята классификация, разработанная Ю. П. Лебедевым, применительно к почвам КиргССР — Н. К. Баженовым. По глубине залегания солевого горизонта почвы Чуйской долины подразделяются: на незасоленные (солевой горизонт на глубине более 150 см); глубокозасоленные (100—150 см); глубокосолончаковатые (от 70—80 до 100 см); солончаковатые (от 30 до 70—80 см); солончаковые (0—30 см).

Накопление солей в грунтовых водах и почвогрунтах в сазовой зоне идет по законам упаривания грунтовых вод и обменного изви-

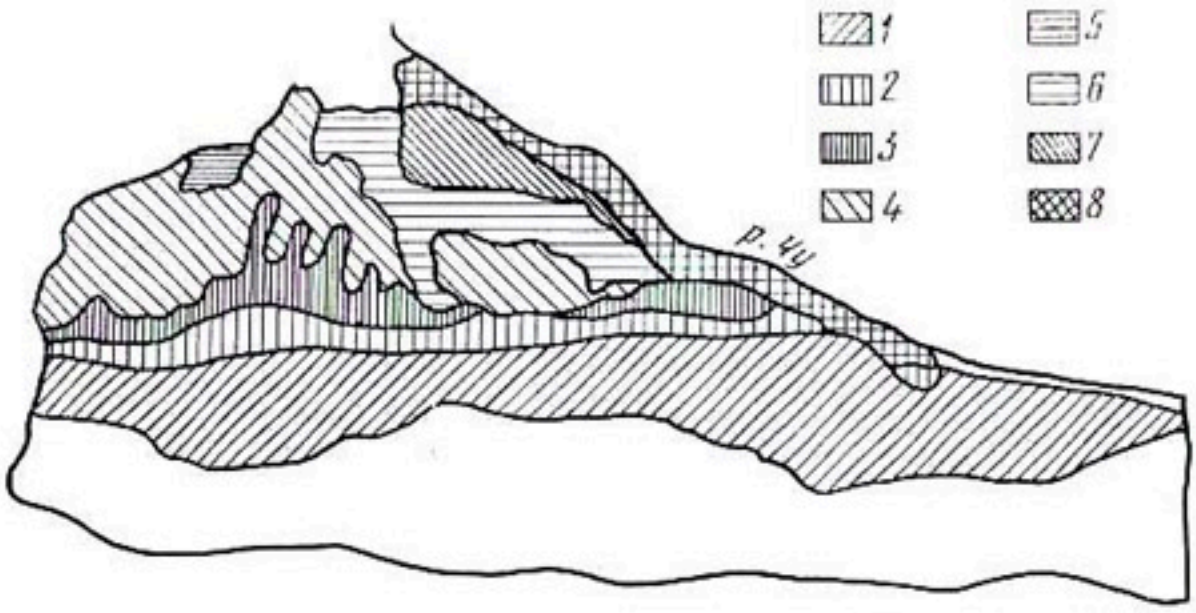


Рис. 3. Схема деления территории Чуйской долины на зоны (округа) соленакопления, районы и подрайоны засоления:

1 — предгорно-Чуйский округ остаточного засоления и солонцеватости; *2* — южно-Чуйский округ гидрокарбонатно (содово)-сульфатного соленакопления, район гидрокарбонатного засоления; *3* — тот же округ, район гидрокарбонатно (содово)-сульфатного засоления; *4* — центрально-Чуйский округ сульфатного и хлоридно-сульфатного соленакопления; *5* — северо-Чуйский округ сульфатного и хлоридно-сульфатного соленакопления, район сульфатного и хлоридно-сульфатного засоления, подрайон остаточного засоления (древняя аллювиальная равнина р. Чу); *6* — те же округ и район, подрайон остаточного глубинного сульфатного засоления (останцовые гряды и всхолмления); *7* — те же округ и район, подрайон вторичного хлоридно-сульфатного засоления; *8* — тот же округ, район содово-сульфатного засоления современной долины р. Чу.

модействия их солей с почвогрунтами. Важное значение имеет растворимость солей. Наименее растворимые соединения—соли кремниевой и угольной кислот. Они образуют первую по направлению движения грунтовых вод зону гидрокарбонатного засоления.

Вторая группа соединений по растворимости — это соли серной кислоты — сульфаты. Они образуют вторую гидрогеохимическую зону — зону сульфатного соленакопления. Между этими зонами выделяется переходная зона гидрокарбонатно-сульфатного соленакопления.

Третья группа соединений, наиболее растворимых и подвижных — хлоридные. Они образуют третью гидрогеохимическую зону — зону хлоридного соленакопления. Однако в пределах киргизской части Чуйской долины эта зона не выражена. Лишь в северной части ее, в районе Ат-Башинской ирригационной системы отмечается увеличение содержания хлоридов.

Таким образом, подчиняясь общим законам геохимического распределения элементов и их соединений по пути их водной миграции, в Чуйской долине сформировался ряд последовательных зон (округов и районов) соленакопления: I — гидрокарбонатного; II — гидрокарбонатно-сульфатного; III — сульфатного; IV — сульфатного и хлоридно-сульфатного.

Схема деления территории Чуйской впадины на зоны (округа) соленакопления, районы и подрайоны засоления приведена на рисунке 3. В каждой из этих зон отмечаются почвогрунты разных степеней засоления — от слабой до сильной и солончаков (табл. 3).

Так, в почвах гидрокарбонатной (содовой) стадии соленакопления сумма солей для различных степеней засоления (от слабой до солончака) в слое 0—60 см составляет 0,15—0,5%. Здесь отмечается наибольшее содержание HCO_3^- (0,05—0,25%). Отношение HCO_3 к сумме ионов Cl^- и SO_4^{2-} составляет 1—3, отношение SO_4^{2-} к Cl^- составляет 4—9, отношение суммы $Na^+ + K^+$ к сумме $Ca^{2+} + Mg^{2+}$ равно 1,4—7,2 (для солонцов-солончаков).

В метровом слое наибольшее количество солей находится в основном в верхнем (20 см) слое, для почв со средней степенью засоления увеличенное количество солей наблюдается на глубине 0,8 м. В почвах гидрокарбонатно (содово)-сульфатной стадии соленакопления сумма солей для различных степеней засоления в пределах 0,2—1,0%. Содержание HCO_3^- составляет 0,05—0,3%, Cl^-—0,01—0,07%, SO_4^{2-}—0,05—0,35%. Отношение SO_4^{2-} к Cl^- находится в пределах 3—8, отношение суммы $Na^+ + K^+$ к сумме $Ca^{2+} + Mg^{2+}$ равно 6,5—40.

При слабой и сильной степени засоления наибольшее количество солей в основном отмечается в верхнем (0—20 см) слое почвогрунтов. В почвах со средней степенью засоления наибольшее количество солей отмечается в средних горизонтах 0,2—1,2 м. В почвах сульфатно-натриевой стадии соленакопления сумма солей в слое 0—1 м для различной степени засоления составляет 0,3—3,2%, содержание SO_4^{2-} равно 0,15—2,0%. Отношение SO_4^{2-} к Cl^- находится в пределах 10—14, отношение $Na^+ + K^+$ к $Ca^{2+} + Mg^{2+}$ равно 1,5—2,8.

При слабой и средней степени засоления наибольшее количество солей находится в верхнем (0,2—0,3 м) слое, при сильной степени засоления и в солончаках сильное засоление прослеживается на глубину до 2—3 м. Наибольшее засоление в поверхностных горизонтах в солончаках составляет 8—9%. В почвах сульфатно-гипсовой стадии соленакопления сумма солей по плотному остатку в слое 0—1 м равна 0,3—2,5%. Содержание SO_4^{2-} составляет 0,15—1,6%, отношение SO_4^{2-} к Cl^- в пределах 18—50.

В почвогрунтах со слабой степенью засоления высокое содержание солей по плотному остатку отмечается в верхнем (0—30 см) слое, в почвах со средней и сильной степенью засоления — по всему профилю до глубины 2—2,5 м, в солончаках — в верхнем метровом слое. На глубине 1—2 м содержание солей постепенно уменьшается. В почвах хлоридно-сульфатной стадии соленакопления в верхнем метровом слое содержание Cl^- — 0,03—0,27%, SO_4^{2-} от 0,15 до 1,65%. Отношение SO_4^{2-} к Cl^- от 2 до 3 и лишь в солончаках от 3 до 4. Отношение суммы натрия и калия к сумме кальция и магния — от 1,5 до 3,8.

В почвогрунтах со слабой степенью засоления распределение солей по всему профилю до глубины 2 м равномерное и не превышает 0,3—0,4%; со средней степенью засоления высокое содержание солей отмечается в слое 0—60 см; при сильной степени засоления — до глубины 3 м, с некоторым уменьшением на глубине 2 м. В солончаках сильное засоление в верхнем метровом слое.

Распределение засоленных и солонцеватых почв в Чуйской долине (табл. 4) показывает, что наиболее распространен сульфатный

Таблица 3. **Накопление солей в почвах по стадиям соленакопле-**

Степень засоления	Стадия соленакопления	Содержание солей		
		сумма солей, %	в том	
			CO_3^{2-}	HCO_3^-
Незасоленные	Гидрокарбонатная	0,05—0,15	—	0,003—0,05
	Гидрокарбонатно-сульфатная	0,05—0,15	Нет	0,03—0,05
	Сульфатно-натриевая	0,05—0,3	»	0,01—0,03
	Сульфатно-гипсовая	0,05—0,3	»	0,015—0,02
	Хлоридно-сульфатная	—	»	0,02—0,05
Слабая	Гидрокарбонатная	0,150—0,200	0,002—0,005	0,05—0,08
	Гидрокарбонатно-сульфатная	0,2—0,3	0,005—0,01	0,05—0,08
	Сульфатно-натриевая	0,3—0,45	0,001	0,03—0,05
	Сульфатно-гипсовая	0,3—0,6	Нет	0,015—0,03
	Хлоридно-сульфатная	—	0,002	0,03—0,05
Средняя	Гидрокарбонатная	0,2—0,3	0,005—0,01	0,08—0,1
	Гидрокарбонатно-сульфатная	0,3—0,4	0,01—0,15	0,08—0,1
	Сульфатно-натриевая	0,45—1,2	Следы	0,025—0,035
	Сульфатно-гипсовая	0,6—1,2	Нет	0,015—0,025
	Хлоридно-сульфатная	—.	0,002	0,025—0,035
Сильная	Гидрокарбонатная	0,3—0,4	0,01—0,02	0,10—0,15
	Гидрокарбонатно-сульфатная	0,4—0,6	0,05—0,08	0,10—0,20
	Сульфатно-натриевая	1,2—1,8	Нет	0,02—0,025
	Сульфатно-гипсовая	1,2—2,0	»	0,015—0,02
	Хлоридно-сульфатная	—	»	0,01—0,02
Солончак	Гидрокарбонатная	0,40—0,50	0,02—0,05	0,15—0,25
	Гидрокарбонатно-сульфатная	0,6—1,0	0,025—0,05	0,20—0,30
	Сульфатно-натриевая	1,8—3,2	Нет	0,025—0,03
	Сульфатно-гипсовая	2,0—2,5	»	0,015—0,025
	Хлоридно-сульфатная	—	»	0,015—0,045

ния в Чуйской долине, % (по Н. К. Баженову)

в слое 0—60 см		Отношение			
числе		$\frac{HCO_3^-}{Cl^- + SO_4^{2-}}$	$\frac{SO_4^{2-}}{Cl^-}$	$\frac{Na^+ + K^+}{Ca^{2+} + Mg^{2+}}$	$\frac{Mg^{2+}}{Ca^{2+}}$
Cl^-	SO_4^{2-}				
0,001—0,005	0,001—0,02	2—4	2—2,5	0,1—0,2	0,5—2,0
0,001—0,01	0,011—0,05	0,6—0,7	2—3	0,1—2,0	0,3—2,0
0,001—0,02	0,005—0,1	0,1—0,2	6—7	0,1—2,0	0,1—1,0
0,001—0,010	0,005—0,100	0,1—0,2	10—12	0,1—0,5	0,3—0,5
0,001—0,02	0,01—0,10	0,2—0,3	6—7	0,3—2,0	0,1—1,0
0,005—0,01	0,02—0,05	1,5—3,0	4—6	1,4—2,2	0,6—0,8
0,01—0,03	0,05—0,15	0,4—0,5	3—4	6,5—7,0	1,0—1,2
0,01—0,025	0,15—0,25	0,1—0,2	10—11	2,2—2,8	1,2—1,4
0,005—0,015	0,150—0,400	0,05—0,07	18—24	0,3—0,8	0,5—0,6
0,03—0,055	0,150—0,250	0,10—0,15	2—3	3,5—3,8	1,2—1,4
0,005—0,01	0,05—0,08	1,0—1,5	5—7	2,2—2,6	0,6—1,0
0,015—0,035	0,1—0,2	0,2—0,4	4—5	5,2—8,4	0,6—0,9
0,015—0,04	0,3—0,6	0,04—0,05	10—12	2,3—2,8	0,8—0,9
0,005—0,010	0,4—0,7	0,03—0,04	45—55	0,2—0,3	0,4—0,5
0,05—0,09	0,25—0,30	0,05—0,07	2—3	1,5—1,6	1,0
0,005—0,01	0,08—0,1	1—2	5—9	1,9—2,0	1,1—1,3
0,01—0,025	0,15—0,25	0,6—1,0	4—8	1,9—5,2	2,0—2,1
0,03—0,07	0,6—1,2	0,01—0,02	11—13	1,5—1,6	0,7—0,9
0,01—0,03	0,7—1,2	0,01—0,02	29—31	0,3—0,5	0,5—0,6
0,09—0,110	0,300—0,550	0,01—0,02	2—3	4,2—5,6	1,0—1,1
0,005—0,15	0,08—0,15	1,5—2,5	5—8	6,2—7,2	0,5—0,7
0,03—0,07	0,20—0,35	0,4—0,6	4—5	18—40	0,6—0,8
0,05—0,1	1,2—2,0	0,008—0,01	13—14	1,9—2,0	0,8—0,9
0,015—0,025	1,2—1,6	0,01—0,02	45—50	0,3—0,4	0,3—0,5
0,110—0,270	0,550—1,650	0,01—0,02	3—4	2,3—2,7	1,0—1,1

Таблица 4. **Типы засоления земель Чуйской долины** (по Н. К. Баженову)

Степень засоления и солонцеватости почв	Тип засоления				Площадь	
	гидрокарбонатный	гидрокарбонатно-сульфатный	сульфатный	сульфатный и хлоридно-сульфатный	га	%
Засоленные почвы						
Слабозасоленные	6 542	6 058	7 615	2 994	23 994	14,4
Среднезасоленные	13 369	33 973	32 973	11 146	91 260	56,8
Сильнозасоленные	1 335	5 181	17 870	842	25 288	15,6
Солончаки	115	4 392	16 548	131	21 186	13,2
Итого, га	23 361	49 604	74 805	15 113	16 883	100
Итого, %	13,3	30,8	46,5	9,4	100,0	
Солонцеватые почвы						
Слабосолонцеватые	21 063	3 207	8 534	—	32 804	35,6
Среднесолонцеватые	13 662	12 259	25 850	356	52 127	56,5
Сильносолонцеватые	3 618	1 414	2 315	—	7 347	7,9
Итого, га	38 343	16 880	36 699	356	92 278	100
Итого, %	41,5	18,3	39,8	0,40	100,0	

тип засоления (46,5%), затем гидрокарбонатно-сульфатный (30,8%). По степени засоления земли распределяются следующим образом: среднезасоленные составляют 56,8%, сильнозасоленные — 15,6%, солончаки — 13,2%. Это означает, что 86,6% засоленных земель требуют мелиоративного улучшения с большими затратами средств и материальных ресурсов.

На основе изучения генезиса, свойств и распространения засоленных и солонцеватых почв Н. К. Баженовым дано почвенно-мелиоративное районирование Чуйской долины (табл. 5). Она отнесена к Северо-Тянь-Шаньской провинции содово-сульфатного гидроморфного соленакопления и включает 10 почвенно-мелиоративных районов.

Всего в Чуйской долине 253 тыс. га засоленных и солонцеватых почв. Основные площади (табл. 6) сосредоточены в районах 3—10 (236 тыс. га). Из них 49,8% имеют гидрокарбонатное (содовое) и гидрокарбонатно(содово)-сульфатное засоление, 43,9%—сульфатное, 6,3% — сульфатное и хлоридно-сульфатное. Засоление и солонцеватость почв влияют на произрастание культурных растений, снижают их урожайность и ухудшают качество урожая.

Так, уже при слабой степени засоления или солонцеватости урожайность сельскохозяйственных культур снижается на 10—20%, при средней степени — на 20—25% и при сильной степени засоления — на 50—80%.

На солонцах и солончаках получить урожай практически невозможно (табл. 7).

Таблица 5. **Почвенно-мелиоративное районирование Чуйской долины** (по Н. К. Баженову)

Геоморфологическая структура	Гидрогеологическая зона	Гидрогеологическая подзона	Почвенно-мелиоративный район	Почвенно-мелиоративный подрайон	Почвенно-мелиоративная группа (тип почв)	Почвенно-мелиоративная подгруппа
Предгорный шлейф (конусы выноса и межконусные понижения)	Фильтрации поверхностных вод и формирования подземного потока		1. Гор и предгорий, прогрессирующего вышелачивания карбонатов, рассоления почв и выноса продуктов выветривания и солей	а. Прогрессирующего вышелачивания и выноса карбонатов и солей	Черноземы Темно-каштановые Каштановые Светло-каштановые	Глубокозасоленные солончаковые, солонцеватые
			2. Предгорного шлейфа, прогрессирующего рассоления почв и выноса солей	б. Прогрессирующего рассоления с остаточными засолением и солонцеватостью почв	Сероземы обыкновенные	Глубокозасоленные солонцеватые, солончаковатые
Слабонаклонная пролювиально-аллювиальная равнина	Выклинивания и неглубокого залегания грунтовых вод	Интенсивного выклинивания грунтовых вод	3. Площадного выклинивания и близкого залегания грунтового потока (0—5 м), аккумуляции и частичного транзита солей	в. Гидрокарбонатного засоления г. Гидрокарбонатно-сульфатного засоления д. Сульфатного засоления	Болотные, луго-но-болотные Луговые, серо-земно-луговые, лугово-сероземные	Глубокозасоленные солончаковатые Солончаковые Солончаки Солонцеватые
		Слабого выклинивания грунтовых вод	4. Неглубокого и относительно неглубокого залегания грунтовых вод (от 1—2 до 15 м), аккумуляции солей с ничтожным выносом, прогрессирующего вторичного засоления почв	е. Сульфатного засоления		
Увалисто-долинный рельеф	Транзита или вторичного погружения грунтовых вод	Со слабой дренированностью	5. Останцовых плато, естественного рассоления почв и выноса солей	ж. Сульфатного засоления	Сероземно-луговые, лугово-сероземные, сероземы светло-луговые	То же

Продолжение

Геоморфологическая структура	Гидрогеологическая зона	Гидрогеологическая подзона	Почвенно-мелиоративный район	Почвенно-мелиоративный подрайон	Почвенно-мелиоративная группа (тип почв)	Почвенно-мелиоративная подгруппа
			6. Древних террас р. Чу, транзита и частичной аккумуляции солей, естественного рассоления почв	з. Сульфатного засоления	Луговые, сероземно-луговые, лугово-сероземные, сероземы светлые	То же
			7. Останцовых плато, естественного рассоления почв	и. Остаточного сульфатного засоления почв	Сероземно-луговые, лугово-сероземные, сероземы светлые	" "
		С весьма слабой дренированностью	8. Полубессточной территории Атбашинской ирригационной системы и северо-западной части Чуйской впадины, аккумуляция солей с прогрессирующим вторичным засолением и заболачиванием почв	к. Вторично-сульфатного и хлоридно-сульфатного засоления почв	Сероземы лугово-сероземные, сероземы луговые, местами луговые и болотные	" "
Современная долина р. Чу	Современная долина р. Чу		9. Верхней части (к востоку от г. Токмака) современной долины р. Чу, транзита солей	л. Неразвитых аллювиальных почв и галечниковых отложений	Аллювиальные примитивные, недоразвитые маломощные почвы	
			10. Средней части (от г. Токмака до с. Камышановка) современной долины р. Чу, транзита солей и частичной аккумуляции солей	м. Гидрокарбонатно-сульфатного засоления почв	Болотные, лугово-болотные, луговые, сероземно-луговые, лугово-сероземные, сероземы светлые	Солончаковатые, солончаковые

Таблица 6. **Распределение засоленных и солонцеватых почв по почвенно-мелиоративным районам и подрайонам Чуйской долины, га** (по Н. К. Баженову)

Почвенно-мелиоративные районы, см. табл. 5	Всего засоленных почв	В том числе								Всего солонцеватых почв	В том числе				Всего засоленных и солонцеватых почв
		солончаковые			солончаковатые		глубокозасоленные		солонцеватые почвы		солонцеватые			солончаково-солонцеватые	
		всего	из них		всего	сильно засоленные	всего	сильно засоленные			всего	из них			
			сильно засоленные	солончаки								сильно засоление	солонцы		
1а	—	—	—	—	—	—	—	—	—	507	507	—	—	—	507
2б	—	—	—	—	—	—	—	—	—	17 016	17 016	—	—	6 795	17 016
3в	15 411	9 467	673	115	4 441	450	439	212	1 064	34 524	27 729	3 388	200	9 413	49 935
3г	26 958	8 642	710	447	10 975	681	355	355	5 536	19 965	10 552	1 029	—	567	46 923
3д	28 054	15 604	4 271	6 878	9 678	2 033	1 245	570	1 527	2 005	1 438	445	145	190	30 059
4с	47 924	34 047	4 915	21 840	10 865	5 468	1 633	263	1 379	2 749	2 559	1 597	—	—	50 573
5ж	6 220	3 080	483	2 552	2 393	2 328	269	—	478	88	88	83	—	—	6 308
6з	13 097	1 782	958	453	8 362	163	2 813	—	140	9 750	9 750	—	—	—	27 847
7и	5 651	344	103	—	5 209	—	—	—	98	4 006	4 006	—	—	—	9 657
8к	15 290	6 585	992	131	7 556	—	1 122	—	27	279	279	—	—	—	15 569
9л	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
10м	2 476	1 661	—	435	775	—	—	—	40	1 390	1 065	—	—	325	3 866
Всего	161 081	81 212	13 105	32 851	60 254	11 123	9 326	1 400	10 289	92 279	74 989	6 542	345	17 290	253 360

Таблица 7. **Снижение урожайности культур в зависимости от степени засоления и солонцеватости почв** (по Н. К. Баженову)

Степень засоления почв	Тип засоления			
	содовый и смешанно-содовый		сульфатный и хлоридно-сульфатный	
	содержание солей, %	снижение урожайности культур, %	содержание солей, %	снижение урожайности культур, %
Незасоленные почвы	Менее 0,15	Нет	Менее 0,30	Нет
Слабая	0,15—0,30	15—20	0,30—0,50	0—10
Средняя	0,30—0,40	40—50	0,50—1,00	20—30
Сильная	0,40—0,60	70—80	1,00—2,00	50—60
Солончаки	Более 0,60	90—100	Более 2,0	70—80

Продолжение

Степень засоления почв	Тип засоления		Солонцеватость		
	сульфатно-хлоридный и хлоридный		степень солонцеватости почвы	содержание поглощенного натрия, % к емкости поглощения	снижение урожайности культур, %
	содержание солей, %	снижение урожайности культур, %			
Незасоленные почвы	Менее 0,20	Нет	Несолонцеватые почвы	Менее 5	Нет
Слабая	0,20—0,30	10—15	Слабая	5—10	10—20
Средняя	0,30—0,70	30—40	Средняя	10—15	30—40
Сильная	0,70—1,20	60—70	Сильная	15—20 (25)	50—70
Солончаки	Более 1,20	80—90	Солонцы	Более 20 (25)	80—100

НЕКОТОРЫЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ, СВЯЗАННЫЕ С ФОРМИРОВАНИЕМ И РАЗГРУЗКОЙ ПОДЗЕМНЫХ ВОД

Мелиоративное состояние земель неразрывно связано с формированием и разгрузкой подземных вод (Каплинский, 1960, 1965, 1969, 1974, 1975; Каплинский, Костюк, 1971), основные закономерности которых следующие:

а) Чуйская долина до глубины 400—450 м сложена рыхлообломочными образованиями (валунники, галечники, гравийники, суглинки и др.) четвертичного возраста;

б) водоносные горизонты имеют наибольшее распространение в вышеуказанных четвертичных отложениях. Эти отложения по генетическому признаку подразделяются на аллювиальные и пролювиально-аллювиальные;

в) подземные воды в пределах предгорного шлейфа приурочены в основном к галечникам, в пределах пролювиально-аллювиальной равнины они распространены по всей толще отложений и обладают напорностью.

Напорные водоносные горизонты переслаиваются между собой суглинистыми и глинистыми пластами с низкими коэффициентами фильтрации, которые гасят напоры, но в связи с тем, что абсолютно водонепроницаемых пород нет, вода перемещается из одного горизонта в другой. Окончательная потеря напора происходит в ближайших к поверхности земли водоупорных прослойках, поэтому в отдельных случаях в грунтовых водах напорность не обнаруживается.

Перелив воды из одних горизонтов в другие в зависимости от градиентов напора изменяется в больших пределах. На основании данных по интенсивности связи между водоносными горизонтами А. Н. Морозовым выделены 3 типа участков:

с ослабленной и затрудненной связью, где величина годового перелива через раздельный слой изменяется от 240 до 270 мм при общем подземном водообмене 300—400 мм;

с хорошей связью, где величина годового перелива через раздельный слой изменяется от 270 до 365 мм при общем подземном водообмене 400—800 мм;

с интенсивной связью, где величина годового перелива через раздельный слой изменяется от 365 до 440 мм при общем подземном водообмене 800—1500 мм.

В районах увалисто-долинного рельефа пьезометрические уровни напорных водоносных горизонтов устанавливаются ниже поверхности земли;

г) основные источники формирования подземных вод — приток из горного обрамления, атмосферные осадки и потери на инфильтрацию в поверхностных водотоках составляют около 80% общего притока. Расходование подземных вод происходит в основном за счет оттока в Чуйскую долину. Здесь происходит их перераспределение: расходование на выклинивание и испарение, дренирование р. Чу и отток подземным путем за пределы долины в пески Мойынкум (до 10—15%);

д) мощность рыхлообломочных отложений составляет:

в зоне формирования подземных вод 350—450 м с содержанием грубозернистых пород в разрезе от 40—60 до 90—100%;

в зоне выклинивания грунтовых вод 300—400 м с содержанием грубозернистых пород от 30 до 60%;

в зоне вторичного погружения грунтовых вод 280 м с содержанием грубозернистых пород порядка 15—20%;

в зоне разгрузки грунтовых вод соответственно 220 м и 80—100% (западная часть долины р. Чу, от г. Токмака);

е) максимальные значения коэффициентов фильтрации, достигающие нескольких десятков и сотен метров в сутки в вертикальном разрезе, наблюдаются в галечниковом и валунно-галечниковом типе разреза. Минимальные значения — от 2 до 6 м/сут имеют место в суглинистых грунтах. В вертикальном разрезе в изменении фильтрационных свойств отмечается определенная закономерность. Выде-

ляются две толщи с повышенным значением коэффициентов фильтрации. Первая залегает на глубине от 40—50 до 90—100 м (даже 130—140 м), вторая — от 120—140 (реже от 180 м) до 280—450 м.

Пониженные коэффициенты фильтрации характерны для пород, залегающих выше 40—50 м в интервалах между вышеуказанными мощностями наиболее водопроницаемых отложений. Наиболее низкие коэффициенты фильтрации распространены на глубине свыше 280—450 м.

Максимальные коэффициенты фильтрации по площади характерны для верхних частей конусов выноса, минимальные — для периферических, для увалисто-долинного рельефа. При переходе от предгорного шлейфа к пролювиально-аллювиальной равнине отмечается резкое изменение водопроницаемости водоносных горизонтов, что связано с быстрым переходом одного типа литологического разреза в другой. Эти изменения происходят в полосе шириной 1,5—2 км. При переходе от пролювиально-аллювиальной равнины к аллювиальной долине р. Чу отмечается резкое возрастание водопроницаемости.

Коэффициенты фильтрации покровных мелкоземов (верхних горизонтов почвогрунтов) для пролювиально-аллювиальной равнины, по отдельным дистанциям Большого Чуйского канала (БЧК) следующие:

II дистанция БЧК, для суглинков с прослоями супесей и песков, в пределах 0,69—1,29 м/сут;

III дистанция БЧК, для средних и легких суглинков с прослоями супесей и наличием известковых конкреций, 1,7—2 м/сут; для средних суглинков без прослоек супесей и песков с наличием конкреций 1—1,5 м/сут; для средних и тяжелых суглинков с сильным засолением 0,1—0,7 м/сут; для супесей с сильным засолением до 1,7 м/сут;

IV дистанция БЧК для глин 0,17 м/сут; для суглинков тяжелых и средних 0,85—1,30 м/сут; для суглинков легких и супесей пылеватых 1,75—2,15 м/сут; для комплекса суглинков с прослоями водоносных песков 8,5 м/сут;

ж) приток подземных вод с предгорного шлейфа Чуйской долины (Каплинский, 1962) составляет 29,2—50,7 м³/с (среднеарифметическая величина из рассмотренных вариантов 40—42,3 м³/с). Поступление (приток-отток) подземных вод на западную часть равнины составляет 18—24 м³/с, или 8,1—10,3 м³/га·сут, то есть 2860—3780 м³/га в год.

Таким образом, Чуйская долина представляет собой слоистую толщу с разной мощностью водоносных горизонтов. Она имеет большие естественные ресурсы, формирующиеся в предгорной зоне и рассеивающиеся в зоне выклинивания грунтовых вод.

МЕЛИОРАТИВНАЯ ОЦЕНКА ЗЕМЕЛЬ

С 1940 по 1967 г. площади с близким залеганием грунтовых вод увеличились на 92 910 га, в основном в центральной и западной части долины. Это объясняется низким уровнем освоения орошаемых земель и эксплуатации оросительных систем, в частности плохим содержанием коллекторно-дренажной сети.

Изменение глубины залегания грунтовых вод показано в таблице 8.

Таблица 8. **Распределение площадей Чуйской долины в зависимости от глубины залегания грунтовых вод, га** (по М. И. Каплинскому)

Годы	Всего валовой площади	В том числе при глубине, м				По данным
		0—1	1—2	2—3	более 3	
1940	573 100	23 050	11 340		438 710	П. Г. Григоренко
1957	591 940	32 520	95 460	102 460	361 500	А. А. Межова
1959	582 952	30 317	103 723	79 007	369 904	И. М. Каркищенко
1967	—	38 700	188 600		—	„Гидрогеология СССР"

Изменение общей минерализации грунтовых вод по сезонам года показано в таблице 9. Орошение слабоминерализованными водами оказывает рассоляющее действие на грунтовые воды как непосредственно на массивах орошения, так и на участках, прилегающих к ним. Так, в 1967 и 1972 гг. две трети территории характеризовались общей минерализацией до 3 г/л и одна треть — более 3 г/л.

Таблица 9. **Распределение площадей Чуйской долины в зависимости от общей минерализации грунтовых вод, тыс. га** (по М. И. Каплинскому)

Годы	Месяц	Общая минерализация грунтовых вод, г/л						Итого
		до 1	1—3	3—5	5—10	10—25	>25	
1967	Май	167,35	111,35	45,5	44,86	16,64	0,30	386,0
	Октябрь	175,79	103,27	45,68	40,36	20,90	—	386,0
1972	Май	211,2	91,0	40,9	35,40	6,0	1,4	386,0
	Октябрь	220,4	84,8	41,9	26,90	8,9	0,1	386,0

Анализ почвенно-мелиоративной обстановки в Чуйской долине за период с 1959 по 1968 г., проведенный П. К. Баженовым (1970), позволил выявить следующее:

1. Общая площадь засоленных земель изменилась незначительно, практически осталась на том же уровне, но произошло резкое ухудшение почвенно-мелиоративного состояния земель: площади слабозасоленных почв сократились с 64,4 до 14,5%, площади среднезасоленных и сильнозасоленных почв увеличились. Солончаки составляли 20,3% площади засоленных почв, солончаки и сильнозасоленные — 36,2%, причем основные площади их сформировались в северной и северо-западной части долины, то есть в районах наиболее перспективных для нового орошения.

2. На больших площадях вследствие нерегулярного орошения и освоения новых земель произошел подъем уровня грунтовых вод и массовое развитие процессов вторичного засоления и местами заболачивания почв. Это привело к резкому сокращению глубокозасоленных и глубокосолончаковатых почв и увеличению площадей солончаковатых почв и солончаков.

3. Вследствие широкого развития орошения наблюдается подъем уровня грунтовых вод. Также отмечается тенденция к постепенному опреснению почв и грунтовых вод на фоне дренажа, развитию процессов осолонцевания почв. Опреснение грунтовых вод отмечается на Атбашинской оросительной системе и в других районах. Наибольшее распространение мелиоративно-неблагополучные земли получили в центральной и западной части долины.

Своеобразие природных условий Чуйской долины зависит от физико-географических условий. Последние оказывают влияние на гидрогеологию. Гидрогеология оказывает влияние на формирование почв. Все эти факторы взаимодействуют в различных сочетаниях с другими факторами неорганического и органического мира, поэтому, выделяя из них главные и изучая их, можно изменить направленность тех или иных процессов.

О ТИПИЧНОСТИ ЧУЙСКОЙ ДОЛИНЫ, ОСНОВНЫХ ЗАДАЧАХ И МЕТОДИКЕ ИССЛЕДОВАНИЙ

Чуйская долина — наиболее крупный район орошаемого земледелия Киргизской ССР. Она типична для межгорных впадин аридной зоны. Такие впадины есть на огромном протяжении вдоль предгорной зоны Джунгарского Алатау, Киргизского хребта, западных отрогов Тянь-Шаня, Туркестанского хребта, Копет-Дага, в Закавказье и других районах нашей страны.

Характерная черта всех межгорных впадин — закономерная смена в конусах выноса грубообломочных отложений мелкозернистыми в направлении от горного обрамления к равнинной части. В соответствии с этой закономерностью в межгорных впадинах выделяются несколько зон, отличающихся условиями питания, стока и разгрузки подземных вод. Отдельные зоны имеют и различия, и общие черты, поэтому они образуют крупные районы формирования и разгрузки (единого напорного комплекса) подземных вод.

Межгорные впадины (в том числе и Чуйская) сходны по условиям питания горных рек и взаимосвязи подземных вод с поверхностным стоком. Все это отражается на сходстве в характере освоения земель, развитии орошаемого земледелия и его влияния на мелиоративное состояние земель.

В настоящее время есть большой опыт выбора и применения различных способов мелиорации земель, их расчета и проектирования. Однако эффективность применения различных мелиоративных мероприятий зависит от множества факторов, связанных с различными природными и хозяйственными условиями, без учета которых эффективность будет значительно снижена.

Один из основных факторов, требующих учета при применении мелиоративных мероприятий, — напорное питание грунтовых вод, характерное для многих межгорных впадин. В Чуйской долине выделены гидрогеологические зоны, требующие различных гидротехнических мелиораций. Так, в зоне интенсивного выклинивания грун-

товых вод со слабой степенью минерализации требуется в основном осушительный дренаж для понижения грунтовых вод. Но снижение грунтовых вод необходимо лишь в весенний период при посеве сельскохозяйственных культур, в остальное время излишнее понижение грунтовых вод приведет к пересушке почв и, следовательно, к потребности в дополнительных подачах оросительной воды. Поэтому появляется необходимость в регулировании грунтовых вод, чтобы использовать их для подпитывания растений.

В остальных зонах требуется рассолительный дренаж и мероприятия по борьбе с солонцеватостью и рассолением уже засоленных земель в основном путем их промывки и недопущению вторичного засоления (применение опреснительного режима орошения и осенних профилактических поливов на фоне хорошо работающего дренажа).

Таким образом, первоочередные основные задачи исследований — установление эффективности работы дренажа (осушительного и рассолительного) и действия промывок засоленных земель на его фоне с применением временного горизонтального дренажа. В последующем необходимо исследовать эффективность регулирования водно-солевого режима почв и всего комплекса факторов жизни растений на основе различных типов дренажа или их сочетаний и способов полива и разработать соответствующие рекомендации.

При разработке рекомендаций следует учитывать: минимум приведенных затрат; повышение коэффициентов земельного использования и полезного действия оросительных систем; перспективы эффективности и долговечности применяемых мероприятий и материалов; использование местных ресурсов для увеличения вводимых в сельскохозяйственный оборот площадей и повышения урожайности сельскохозяйственных культур; минимальный срок ввода площадей в сельскохозяйственный оборот и максимальный срок действия применяемых мелиоративных мероприятий.

Следует подчеркнуть, что проблема гидротехнических мелиораций, особенно в условиях напорных вод, является серьезной и сложной и от правильного ее решения зависит эффект применяемых мелиоративных мероприятий.

Методика исследований основана на сочетании анализа и обобщения литературных данных и полевых опытов для установления физической картины работы дренажа и его влияния на эффективность применения мелиоративных мероприятий (промывки, поливы и т. п.). Под физической картиной работы дренажа понимается характер движения грунтовой воды и солей в сфере действия дрен и между дренами.

Цель полевых исследований — выяснить количественные характеристики динамики уровня грунтовых вод, пьезометрических напоров, дебита дрен, структуры водного и солевого балансов под влиянием применяемых мелиоративных мероприятий и динамики их отдельных элементов. Для этого были оборудованы опытные участки (рис. 4). Методика исследований отдельных элементов отличалась от предыдущей (Каплинский, 1961, 1968) и заключалась в следующем.

Динамика уровней грунтовых вод и пьезометрических напоров определялась по данным наблюдений в створах кустов пьезометров и наблюдательных скважин (куст пьезометров состоит из трех пьезометров, фильтры которых установлены на глубинах 3, 5 и 8 м от поверхности земли, и одной наблюдательной скважины, перфориро-

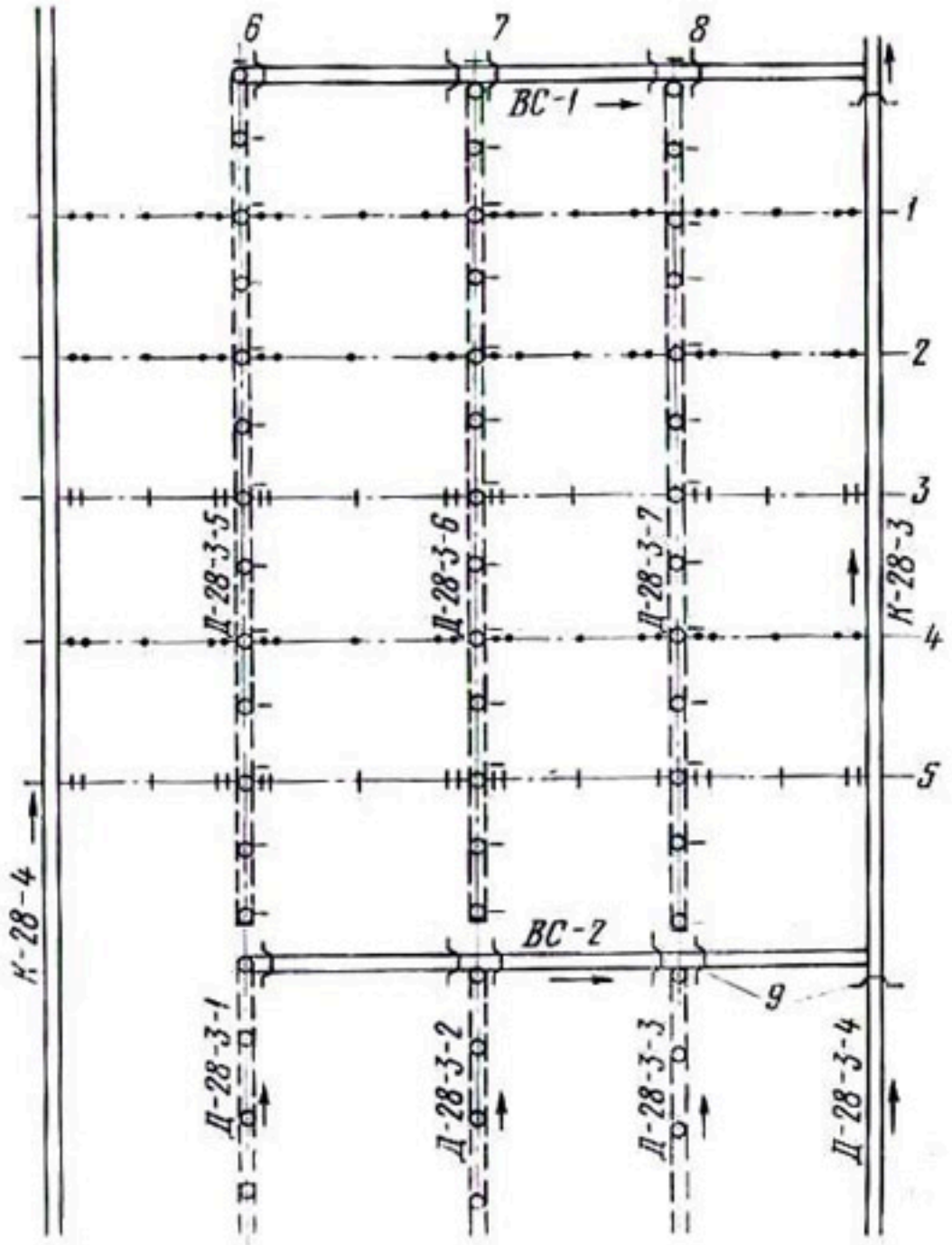


Рис. 4. Схема опытного участка закрытого горизонтального дренажа в колхозе «Победа»:

1, 2, 4 — створы наблюдательных скважин; *3, 5* — створы кустов пьезометров, перпендикулярные дренам; *6, 7, 8* — створы кустов пьезометров по длине дрен (у смотровых и контрольных колодцев); *9* — водосливы.

ванной по всей длине на глубину максимального опускания грунтовых вод). Створы были установлены перпендикулярно дренам так, чтобы охватить несколько междрений и чтобы на участках было по нескольку створов на равном расстоянии друг от друга. Кусты в створах были чаще вблизи дрен и реже к середине междрений (рис. 4). Частота наблюдений в невегетационный период — один раз в 10 дней, в вегетационнный — один раз в 3—5 дней с ежедневными замерами после поливов. Для уточнения положения истинного уровня грунтовых вод бурили выборочные контрольные скважины (рядом с наблюдательными). Появившиеся и установившиеся уровни в них фиксировали. Так же использовали скважины, которые бурили для взятия проб почвы на влажность.

Гидродинамическая картина работы дренажа установлена на основе анализа гидродинамических сеток, построенных по данным наблюдений в створах кустов пьезометров и скважин.

Активная зона действия дренажа (питания и влияния) в плане установлена по данным гидродинамических сеток, а по глубине — на основе анализа зависимостей между действующим напором в междренья и под дном на различной глубине.

Эффективность работы дренажа по отводу воды и солей со стороны междрений и снизу установлена на основе анализа схем его питания в различных гидрогеологических условиях при наличии и отсутствии инфильтрационного питания. Эти данные сопоставлялись с фактически полученными при солевых съемках. Пробы почвогрунтов отбирались не менее двух раз — весной и осенью. Влияние поливов устанавливалось по пробам почвы после поливов. Пробы почвы отбирались через 20 см до 1 м и через 0,5 м до уровня грунтовых вод или на всю мощность расчетного слоя (0—350 см). Пробы грунтовых вод отбирались из скважин и пьезометров, пробы дренажных — в устьях дрен и коллекторов, на отдельных дренах в начале, середине и в конце их или через определенные равные интервалы по их длине.

Зависимость дебита дрен от действующих факторов устанавливалась на основе анализа взаимосвязи между действующим напором в междренья и пьезометрическими напорами под дном дрен на различной глубине. Для получения более точных зависимостей дебит дрен учитывался по отдельным участкам дрен.

Возможность применения различных типов дренажа установлена на основе изучения эффективности их работы в различных условиях, анализа этих условий (в особенности гидрогеологических, литологического строения), проектируемых водохозяйственных и мелиоративных мероприятий и технико-экономических показателей этих типов дренажа. Типы и параметры дренажа установлены с учетом возможности регулирования водно-солевого режима почв, в частности с помощью регулирования дренажного стока.

Технико-экономические показатели установлены на основе изучения и анализа эффективности различных типов дренажа и применяемых мелиоративных мероприятий (промывки, поливы, двойное регулирование грунтовых вод и т. п.) и приведенных затрат на их осуществление.

Возможность применения рекомендуемых в литературе зависимостей для расчетов дренажа установлена на основе сравнения расчетных параметров дренажа с фактическими при соответствующих исходных данных.

Установление оптимальных схем планового расположения горизонтального дренажа проведено на основе сопоставления стоимости дренажа с различной протяженностью отдельных элементов.

Структура водного и солевого балансов установлена на основе фактических наблюдений за поступлением воды на участки и оттока ее с них. С этой целью участки были оборудованы водомерными устройствами с самописцами. Суммарное испарение определялось по формулам, подземный приток и отток — по разности между приходными и расходными элементами, запасы влаги — по данным отбора проб на влажность.

Эффективность промывки засоленных земель установлена на основе технико-экономических показателей различных схем промывок; параметры временного дренажа (глубина дрен и междренья) — на

основе учета профиля засоленности почвогрунтов, гидродинамической картины работы дренажа, характера намечаемых промывок (обычные, коренные и т. п.), требуемой скорости отвода воды и т. п. Показатели затрачиваемой воды на единицу вымытых солей сравнивали с учетом фактической скорости фильтрации промывной воды, зависящей не только от водопроницаемости почвогрунтов и их естественной и искусственной дренированности, но и от ряда других факторов. Засоленность почвогрунтов установлена по данным отбора проб до и после подачи поливных и промывных норм. Методика отбора проб и выполнения химических анализов определена в соответствии с существующими инструкциями.

Возможность применения существующих методов и зависимостей для определения промывных норм установлена на основе сравнения фактических данных с расчетными. Рекомендуемые зависимости для расчета промывных норм учитывают скорости фильтрации промывной воды и показатель солеотдачи.

Вспомогательные и сопутствующие наблюдения (урожайность сельскохозяйственных культур, водно-физические свойства почвогрунтов, коэффициент конвективной диффузии, параметры солеотдачи, химические анализы почвогрунтов и воды, коэффициент фильтрации и т. п.) проводились по существующим инструкциям.

2. РЕЗУЛЬТАТЫ ПОЛЕВЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПО ИЗУЧЕНИЮ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ГОРИЗОНТАЛЬНОГО ДРЕНАЖА В ЧУЙСКОЙ ДОЛИНЕ

ВЛИЯНИЕ ДРЕНАЖА НА ДИНАМИКУ УРОВНЯ ГРУНТОВЫХ ВОД И ДРЕНАЖНОГО СТОКА

Характеристика опытных участков и сравнение их по отдельным признакам. Горизонтальный дренаж в Чуйской долине выполнен на площади более 100 тыс. га, в основном открытый. В связи с недостаточно эффективной работой в настоящее время идет его реконструкция, замена на закрытый дренаж.

Изучением эффективности работы горизонтального дренажа в Чуйской долине в разное время занимались многие исследователи (табл. 10). Исследования проводились на 22 участках открытого и закрытого дренажа площадью от 20—40 до 400—800 га, а также на больших системах, подкомандных II, III, IV дистанции Западного Большого Чуйского канала. Опытные участки (табл. 10) расположены в восточной, центральной и западной части Чуйской долины с различными климатическими, гидрогеологическими, литологическими и другими особенностями. Почвогрунты этих участков представлены легкими, средними и тяжелыми суглинками и глинами с прослоями песка и супеси, на отдельных участках встречаются глинисто-известковые конкреции. Коэффициенты фильтрации грунтов в пределах 0,34—4,0 м/сут.

Почвы встречаются луговые, светло-луговые, сероземно-луговые, лугово-сероземные.

Параметры дренажа следующие: междренья от 200—400 до 800—900 м, глубина дрен 2—3,5 м. Закрытый дренаж выполнен из асбестоцементных и керамических труб диаметром 150—250 мм.

Для сравнения участков по признакам использована методика Шабанова и Рудаченко (1971). В качестве признаков первого порядка приняты: коэффициент фильтрации почвогрунтов, глубина грунтовых вод и засоленность почвогрунтов. Эти параметры входят в качестве исходных данных в расчетные формулы для определения параметров дренажа и установления необходимости других мелиоративных мероприятий (промывки засоленных земель и т. п.). Все остальные показатели по опытным участкам — признаки второго порядка. Они как бы производные показателей первого порядка.

Для исследований были выбраны четыре участка в условиях засоленных почвогрунтов и грунтовых вод. За эталон принят участок в колхозе им. Ильича. При расчетах (табл. 11) для каждого признака определялись статистические характеристики (пределы

Таблица 10. Характеристика опытных участков горизонтального дренажа в Чуйской долине Киргизской ССР

Участок	Кем и когда проведены исследования	Местоположение	Валовая площадь, га	Уклон поверхности земли	Литология	Тип почвы	Параметры дренажа		
							тип	глубина, м	расстояние между дренами, м
Киргизская опытно-мелиоративная станция	Дуюнов И. К., 1953—1957 гг.	Восточная часть долины	58	0,003—0,012	Средние суглинки	Светло-лугово-болотные	Открытый	0,8—2,5	200—250
Колхоз им. Ильича Калининского района	Харитонов Б. К., Эзафович О. А., 1970—1972 гг.		804	0,003—0,007	Суглинки легкие, средние и тяжелые с прослоями песка, супеси и глин	Луговые, сероземно-луговые, лугово-сероземные	Закрытый	3,2—3,5	270—300
Колхоз им. Ярославского Калининского района	Дуюнов И. К., Ивасышина А. С., Госсу Л. К., 1965—1972 гг.	Северо-западная часть долины	434	0,005	Суглинки средние с содержанием глинисто-известковых конкреций	Луговые с пятнами луговых сероземов	Закрытый	2,0	270

Продолжение

Участок	Кем и когда проведены исследования	Местоположение	Валовая площадь, га	Уклон поверхности земли	Литология	Тип почвы	Параметры дренажа		
							тип	глубина, м	расстояние между дренами, м
Колхоз „Победа" Калининского района	Дуюнов И. К., Ивасышина А. С., Харитонов Б. К., Госсу Л. К., 1963—1972 гг.	Северо-западная часть долины	653	0,004	Суглинки средние лессовидные с содержанием глинисто-известковых конкреций	Лугово-сероземные, переходные к луговым	Закрытый	3,2—4,0	400—500
Совхоз „Чалдовар" Калининского района	Дуюнов И. К., Ивасышина А. С., 1963—1972 гг.	То же	800	0,0045	Суглинки средние лессовидные с содержанием глинисто-известковых конкреций	Лугово-сероземные, переходные к луговым	То же	3,0—3,5	270—330
Совхоз „Чалдовар" Калининского района	Шеслер Е. Г., Ивасышина А. С., 1963—1972 гг.			0,0045	Суглинки средние лессовидные с содержанием глинисто-известковых конкреций	Сероземно-луговые	Открытый	2,4—3,4	454—472

Таблица 11. Сравнение опытных участков по отдельным признакам

Название участка	Показатели	Признаки							
		коэффициент фильтрации, м/сут	уровень грунтовых вод, м	дренажный модуль, л/(с · га)	средняя плотность, г/см³	засоление почвогрунтов, %	минерализация грунтовых вод, г/л	минерализация дренажных вод, г/л	вероятность совпадения
Колхоз им. Ильича	Пределы	0,37—2,70	0,012—2,396	0,075—0,324	1,23—1,72	0,087—1,041	0,949—12,809	2,856—5,346	
	$\overline{X}$	1,16	1,756	0,145	1,55	0,391	5,377	4,148	
	$\sigma_{\overline{x}}$	0,82	0,631	0,047	0,155	0,349	3,807	1,26	
	n	11	54	83	20	16	16	3	
	P_i	—	—						
Колхоз „Победа"	Пределы	0,20—2,85	1,591—3,381	0,010—0,296	1,24—1,69	0,147—1,065	6,716—19,40	2,234—5,825	Эталон
	$\overline{X}$	1,13	2,323	0,069	1,50	0,716	10,549	4,52	
	$\sigma_{\overline{x}}$	0,654	0,390	0,062	0,14	0,346	3,918	1,31	
	n	28	107	81	18	9	9	8	
	P_i	0,859	0,574	0,461	0,915	0,792	0,711	0,633	0,390
Совхоз „Чалдовар"	Пределы	0,20—2,60	0,07—2,40	0,004—0,260	1,11—1,89	0,184—1,249	1,472—4,350	0,768—6,444	
	$\overline{X}$	1,40	1,14	0,139	1,52	0,738	3,322	3,035	
	$\sigma_{\overline{x}}$	0,971	0,539	0,071	0,164	0,347	1,01	2,60	
	n	10	35	76	43	9	6	4	
	P_i	0,765	0,972	0,811	0,850	0,779	0,991	0,341	0,580
Колхоз им. Ярославского	Пределы	—	1,10—1,67	0,00—0,453	1,33—1,66	0,095—0,118	0,672—1,400	0,436—0,636	
	$\overline{X}$	—	1,503	0,090	1,54	0,103	1,062	0,505	
	$\sigma_{\overline{x}}$	—	0,164	0,103	0,124	0,012	0,31	0,090	
	n	—	33	91	12	3	6	4	
	P_i		1	0,546	0,920	0,909	0,643	—	0,455

изменения признака его среднеарифметическое значение $\bar{X}$, среднеквадратическое отклонение $\sigma_{\bar{x}}$, число точек n).

Исследованиями установлено, что большинство признаков подчиняется закону нормального распределения. Это позволяет определять вероятность совпадения одноименных признаков по зависимости, приведенной в работе Вентцель (1969). Вероятность совпадения по участку в колхозе «Победа» 0,390, по участку в совхозе «Чалдовар» — 0,580, по участку в колхозе им. Ярославского —0,455.

Динамика уровней грунтовых вод. До орошения и строительства дренажа режим грунтовых вод характеризовался весенним максимумом и осенним минимумом. Под влиянием орошения режим грунтовых вод изменился и стал относиться к ирригационно-климатическому типу. Максимальное положение уровней грунтовых вод наблюдается уже не только весной, но и в любой другой период года, в зависимости от поступления инфильтрационных вод от орошения, промывок (табл. 15).

Грунтовые воды в период поливов и промывок поднимаются к поверхности земли. Снижение уровня грунтовых вод под влиянием испарения и оттока их в дрены происходит с различной скоростью. При прочих равных условиях скорость опускания уровня грунтовых вод зависит от глубины заложения дрен и междренных расстояний, то есть от степени дренированности и действующего напора в междренье. Скорость спада грунтовых вод не остается постоянной, с течением времени она изменяется от бóльших значений к мéньшим.

Так, в осенне-зимний период продолжительность спада может быть 30—50 суток, при этом средняя скорость в середине междренья может изменяться в значительных пределах от 1 до 12—15 см/сут при максимальной скорости 10—20 см/сут и минимальной — 0,3—0,5 см/сут. В весенне-летний период продолжительность спада грунтовых вод может быть также 10—50 суток. Она зависит от продолжительности межполивного периода, при этом средняя скорость спада изменяется от 1 до 12 см/сут. Максимальная и минимальная скорость спада в весенний и летний период изменяется в тех же пределах, что и в осенне-зимний период.

Скорость спада уровней грунтовых вод при данных междреньях и глубинах заложения дрен зависит от действующего напора. Так, при междренном расстоянии $B=194$ м и глубине заложения дрен $l=3{,}5$ м скорость спада изменяется от 0,6 до 11,7 см/сут при изменении действующего напора от 0,28 до 2,23 м, что соответствует глубине залегания грунтовых вод 1,3 м и ниже. При $B=480$ м, $l=3{,}25$ м и изменении действующего напора от 0,6 до 2 м скорость спада соответственно изменяется от 0,4 до 7,8 см/сут. Таким образом, при изменении степени дренированности от $B/l=55.5$ до 132, то есть в 2,4 раза, скорость спада уменьшается с 11,7 до 7,8 см/сут, то есть в 1,5 раза при одном и том же действующем напоре.

Сопоставление динамики уровней грунтовых вод по участкам в колхозах «Победа», им. Ильича и совхозе «Чалдовар» Калининского района показывает следующее:

по участкам закрытого дренажа среднегодовое значение глубины составляет 2—2,9 м, в вегетационный период—1,8—2,8 м, но в отдельных междреньях под влиянием поливов происходит подъем уровня грунтовых вод до 1 м и менее от поверхности земли;

Таблица 12. **Динамика уровней грунтовых вод на опытных участках горизонтального дренажа**

Опытный участок	Междренье	Параметры дренажа, м		Глубина залегания грунтовых вод по периодам, м					Скорость спада уровня грунтовых вод по периодам, см/сут.			
		глубина дрен	расстояние между дренами	среднегодовой	вегетационный		невегетационный		вегетационный		невегетационный	
					max	min	max	min	max	min	max	min
Киргизская опытно-мелиоративная станция	Д-1—Д-2	2,25	200	1,27—1,42	0,2—0,4	1,1—1,2	1,0	1,5	15—20	2—5	—	—
Колхоз им. Ильича Калининского района	Д-2-3-0—Д-2-3-1	3,5	256	—	3,06	2,29	2,99	1,24	16,9	0,19	17,0	0,15
	Д-2-3-1—Д-2-3-2	3,5	274	—	3,06	2,29	2,99	1,24	22,2	0,49	12,0	0,15
	Д-2-3-3—Д-2-3-4	3,5	303	2,62	2,62	1,41	1,96	1,86	—	—	—	—
	Д-3-5—Д-3-4	3,5	286	—	2,79	1,75	2,67	2,60	—	—	—	—
	Д-3-4—Д-3-3	3,5	300	—	3,06	2,65	3,04	—	—	—	—	—
Колхоз им. Ярославского Калининского района	Д-30-3-2—Д-30-3-1	2,0	270	2,16	2,00	0,61	1,80	1,60	1,4	1,3	0,8	—

Продолжение

Опытный участок	Междренье	Параметры дренажа, м		Глубина залегания грунтовых вод по периодам					Скорость спада уровня грунтовых вод по периодам, см/сут.			
		глубина дрен, м	расстояние между дренами, м	среднегодовой	вегетационный		невегетационный		вегетационный		невегетационный	
					max	min	max	min	max	min	max	min
Колхоз „Победа" Калининского района	К-28-3—Д-28-3-7	4,5—4	520	2,48	2,07	0,20	2,91	—	4,4	0,4	4,0	0,4
	Д-28-3-7—Д-28-3-6	4—3,5	404	2,49	2,22	0,08	2,76	—	6,0	0,4	4,0	0,4
	Д-28-3-6—Д-28-3-5	3,5—3,45	446	2,48	2,73	0,15	2,77	—	5,0	0,4	5,0	0,4
	Д-28-3-5—К-28-4	3,45—3,2	500	2,75	2,84	0,00	2,84	—	7,0	0,4	5,0	0,4
Совхоз „Чалдовар" Калининского района	Д-29-2-3—Д-29-2-4	2,8—3,5	330	2,41	2,75	0,05	2,67	—	—	—	—	—
	Д-29-2-4—Д-29-2-5	3,5—3,1	270	2,09	1,55	0,15	2,37	—	—	—	—	—
То же	Д-30-14—Д-30-15	2,3—3,2	450	1,57	1,68	0,07	2,10	1,43	22,5	3,70	—	—
	Д-30-17—Д-30-18	2,8—3,2	438	1,57	1,65	0,10	2,14	1,80	15,0	0,60	—	—

Таблица 13. **Динамика удельных расходов и дренажных модулей по дренам, расположенным на опытных участках в Чуйской долине**

Опытный участок, годы наблюдений	Название дрены	Тип дренажа	Параметры дренажа, м		Удельный расход (л/с на 1 км) по периодам					Дренажный модуль [л/(с · га)] по периодам				
			расстояние между дренами	глубина дрен	среднегодовой	вегетационный		невегетационный		среднегодовой	вегетационный		невегетационный	
						max	min	max	min		max	min	max	min
Киргизская опытно-мелиоративная станция, 1949—1957 гг.	Д-1	Открытый	200—250	2,25	7,65	11,05	8,0	16,0	6,75	0,34	0,49	0,36	0,71	0,30
	Д-2	„	200—250	2—2,25	11,05	13,3	6,75	—	—	0,49	0,59	0,30	—	—
	К-1	„	250—400	2,5	13,0	14,6	7,15	—	—	0,40	0,45	0,22	—	—
	К-2	„	250—400	2,5	13,0	14,6	7,15	—	—	0,40	0,45	0,22	—	—
Колхоз им. Ильича, 1970—1972 гг.	Д-2-3-0	Закрытый	267	3,2—3,5	—	9,63	1,65	9,50	2,48	0,19	0,38	0,06	0,36	0,09
	Д-2-3-1	„												
	Д-2-3-2	„	276	3,2—3,5	—	9,50	1,08	4,00	1,25	0,14	0,34	0,04	0,14	0,05
	Д-2-3-3	„	290	3,2—3,5	—	5,36	1,07	4,05	1,07	0,09	0,18	0,04	0,14	0,04
	Д-2-3-4	„	295	3,2—3,5	—	4,92	2,43	3,47	2,43	—	0,17	0,08	0,12	0,08
	Д-2-3-5	„	288	3,2—3,5	—	6,42	3,59	4,62	—	—	0,22	0,12	0,17	—
Колхоз им. Ярославского	Д-30-3-1	„	270	2,0	3,24	6,17	1,20	3,72	0,56	0,12	0,24	0,05	0,14	0,02
	Д-30-3-2	„	270	2,0	2,70	11,40	0,0	1,23	0,0	0,10	0,43	0,00	0,05	0,0

Продолжение

Опытный участок, годы наблюдений	Название дрены	Тип дренажа	Параметры дренажа, м		Удельный расход (л/с на 1 км) по периодам					Дренажный модуль [л/(с·га)] по периодам				
			расстояние между дренами	глубина дрен	среднегодовой	вегетационный		невегетационный		среднегодовой	вегетационный		невегетационный	
						max	min	max	min		max	min	max	min
Колхоз „Победа", 1964—1967 гг.	Д-28-3-1	Закрытый	500	3,3	6,0	10,15	3,98	5,85	2,56	0,1	0,20	0,06	0,12	0,05
	Д-28-3-5	„	440	3,3	4,40	11,10	1,44	5,87	1,13	0,10	0,25	0,03	0,13	0,03
	Д-28-3-6	„	400	3,2	—	11,60	0,38	2,58	0,13	—	0,29	0,01	0,06	0,01
	Д-28-3-7	„	410	3,6	2,87	14,01	0,54	5,16	0,21	0,07	0,34	0,01	0,13	0,01
Совхоз „Чалдовар", 1962—1965 гг.	Д-29-2-3	Открытый	350	2,80	5,95	15,5	2,10	8,24	2,35	0,18	0,47	0,06	0,25	0,07
	Д-29-2-4	Закрытый	270	3,5	5,13	8,12	2,70	5,40	2,70	0,19	0,30	0,10	0,20	0,10
	Д-29-2-5	„	270	3,5	3,24	8,62	2,75	5,00	2,45	0,12	0,32	0,10	0,18	0,09
Совхоз „Чалдовар", 1963 г.	Д-30-17	Открытый	438	2,8—3,2	3,50	8,80	1,0	4,76	0,26	0,08	0,20	0,02	0,11	0,01
	Д-30-18	„	438	2,3—3,2	6,30	9,50	3,0	16,5	2,50	0,14	0,22	0,07	0,38	0,06
	Д-30-19	„	450	2,8—3,2	4,96	31,2	2,6	10,5	3,60	0,11	0,69	0,06	0,23	0,08

в междуречьях открытых дрен среднегодовая глубина грунтовых вод—1,6 м, в вегетационный период уровни поддерживаются в среднем на глубине 1,4 м от поверхности земли.

Эти данные показывают, что на участках открытого дренажа не обеспечивается поддержание глубины грунтовых вод в 2 м и ниже. Это связано с увеличением расстояния между дренами и уменьшением их глубины из-за оплывания и заиления.

Таким образом, в среднегодовом разрезе можно обеспечить поддержание уровня грунтовых вод на глубине, исключающей засоление почвогрунтов. Однако из-за подъема уровня грунтовых вод под влиянием поливов и промывок на фоне плохо работающего дренажа возможно подтягивание солей к поверхности.

Динамика дренажного модуля. Известно, что дренажный модуль и его динамика зависят от множества естественных и искусственных факторов.

К естественным факторам относятся: гидрогеологические условия, фильтрационные свойства почвогрунтов, их механический состав, приток и отток подземных вод, суммарное испарение и другие; к искусственным — режим орошения сельскохозяйственных культур и промывок, режим грунтовых вод, параметры дренажа.

Данные о фактических удельных расходах и дренажных модулях по отдельным участкам, расположенным в различных местах Чуйской долины (табл. 13), показывают следующее:

дренажный модуль под действием вышеуказанных факторов изменяется в значительных пределах;

дренажный модуль уменьшается в направлении с востока на запад. Так, наибольшие значения дренажного модуля 1,07—1,21 л/(с·га) отмечены на опытном участке в колхозе им. Калинина Кантского района по дрене С-3-2 при среднегодовом значении дренажного модуля 0,26 л/(с·га).

Таким образом, фактические значения дренажного модуля подтверждают следующие положения:

горизонтальный дренаж в Чуйской долине при соответствующих параметрах может в эксплуатационный период обеспечить отвод избыточных фильтрационных вод для поддержания требуемых уровней грунтовых вод;

постоянный дренаж, выполненный для работы в эксплуатационный период, не может обеспечить отвод инфильтрационных вод при промывках большими нормами, однако максимальные значения дренажного модуля 0,4—0,7 л/(с·га) показывают, что постоянный дренаж при промывках также может играть существенную роль.

ВЛИЯНИЕ ДРЕНАЖА НА ДИНАМИКУ СОЛЕВОГО РЕЖИМА ПОЧВОГРУНТОВ, ГРУНТОВЫХ И ДРЕНАЖНЫХ ВОД

При оценке почвогрунтов по типу и степени засоления использовались рекомендации Н. И. Базилевич и Е. И. Панковой. Динамика засоления учитывалась по плотному остатку и по суммарному эффекту токсичных ионов (CO_3^{2-}, HCO_3^-, Cl^-, SO_4^{2-}), выраженному в мг·экв. Cl^-, а также по некоторым статистическим характеристикам.

При определении суммарного эффекта токсичные ионы выражались в эквивалентах хлора:

$$Cl^- = 0{,}1CO_3^{2-} = 2{,}5HCO_3^- = 5SO_4^{2-}.$$

В таблице 14 приведена классификация почв по степени засоления.

Таблица 14. **Классификация почв по степени засоления с учетом суммарного эффекта токсичных ионов**

Степень засоления	Суммарный эффект токсичных ионов (CO_3^{2-}, HCO_3^-, Cl^-, SO_4^{2-}), мг · экв.
Незасоленные	<0,3
Слабозасоленные	0,3—1,0 (1,5)*
Среднезасоленные	1,0 (1,5)—3,0 (3,5)
Сильнозасоленные	3,0 (3,5)—7,0 (7,5)
Очень сильнозасоленные	>7 (7,5)

* Значение суммарного эффекта, данное в скобках, берется при содержании иона HCO_3^- >1,4 мг · экв.

При статистической обработке опытных данных определялись следующие характеристики. Среднее арифметическое

$$\bar{X} = \frac{\Sigma x}{n}, \tag{1}$$

где x — отдельные значения варьирующего признака; n — общее число наблюдений.

Среднее квадратическое отклонение

$$S = \sqrt{\frac{\Sigma (x-\bar{x})^2}{n-1}}. \tag{2}$$

Коэффициент вариации

$$V = \frac{S}{x} 100\%. \tag{3}$$

Среднеарифметическая ошибка

$$\bar{S}_x = \frac{S}{\sqrt{n}}. \tag{4}$$

Показатель точности опыта

$$P = \frac{\bar{S}_x}{\bar{x}} 100\%. \tag{5}$$

Динамика засоления почвогрунтов, грунтовых и дренажных вод. Динамика засоления почвогрунтов, грунтовых и дренажных вод

Таблица 15. **Динамика засоления метрового слоя почвогрунтов* в междреньях на опытном участке в колхозе «Победа» Калининского района, %**

Междренье	1966 г.		1967 г.		1968 г.		1969 г.		1970 г.		1971 г.		1972 г.	
	весна	осень	весна	осень	весна	осень	весна	осень	весна	осень	весна	осень	весна	осень
К-28-3—Д-28-3-7	0,583	0,540	0,606	0,658	0,598	0,669	0,607	0,779	0,682	0,600	0,451	0,596	0,592	0,599
	0,529	0,893	0,694	0,627	0,765	0,681	0,735	0,450	0,562	0,725	0,579	0,517	0,433	0,614
Д-28-3-7—Д-28-3-6	0,697	0,852	0,778	0,891	0,608	0,806	0,593	0,643	0,543	0,628	0,803	0,804	0,681	0,558
	1,104	1,522	1,439	1,328	2,320	0,852	0,899	0,703	0,601	0,710	0,636	0,573	0,889	0,783
Д-28-3-6—Д-28-3-5	0,683	0,930	0,513	0,755	0,728	0,450	0,595	0,637	0,670	0,752	0,679	0,626	0,674	0,692
	0,954	1,351	1,541	1,389	2,454	1,732	1,042	1,459	1,287	1,537	1,187	1,563	1,033	1,483
Д-28-3-5—К-28-4	0,185	0,346	0,285	0,277	0,226	0,290	0,251	0,268	0,356	0,401	0,246	0,229	0,208	0,258
	0,358	0,814	0,822	0,668	0,693	0,705	0,726	0,711	0,976	0,707	0,363	0,724	0,505	0,790

* В числителе — средние данные по девяти точкам, в знаменателе — по трем.

показана на примере участка в колхозе «Победа». Исследования проводили на четырех междуречьях закрытого дренажа в девяти точках каждого междуречья. По трем точкам проводили полные химические анализы почвогрунтов и грунтовых вод, по остальным точкам определяли плотный остаток.

По типу засоления почвогрунты в метровом слое относятся к сульфатным: отношение $\frac{Cl^-}{SO_4^{2-}}$ меньше 0,2; из катионов преобладают Ca^{2+}, однако встречаются точки с преобладанием $Na^+ + K^+$.

По степени засоления (табл. 15) отмечаются почвогрунты от незасоленных до среднезасоленных. Среднеарифметические величины по отдельным междуречьям показывают, что существенных изменений в засоленности за период с 1966 по 1972 г. не произошло.

Анализ данных по суммарному эффекту токсичных ионов показывает, что по трем междуречьям наблюдается накопление токсичных ионов, по одному — уменьшение.

Статистические характеристики степени засоления почвогрунтов показаны в таблице 16.

Таблица 16. **Статистические характеристики степени засоления метрового слоя почвогрунтов на опытном участке в колхозе «Победа» за период 1966—1972 гг.**

Показатели	Междуречье			
	К-28-3—Д-28-3-7	Д-28-3-7—Д-28-3-6	Д-28-3-6—Д-28-3-5	Д-28-3-5—К-28-4
n, число наблюдений	14	14	14	14
$\bar{x}$, % массы сухой почвы	0,611	0,706	0,670	0,274
S, то же	0,071	0,115	0,111	0,0576
V, %	11,62	16,3	16,5	21,6
S_x, % массы сухой почвы	0,019	0,0307	0,0298	0,0154
P, %	3,11	4,35	4,45	5,62

Данные об изменении засоления по отдельным междуречьям и по годам показаны на рисунке 5. Динамика минерализации грунтовых вод (табл. 17) показывает, что за четырехлетний период (по девяти точкам) произошло некоторое снижение минерализации грунтовых вод. Аналогичная картина и за семилетний период наблюдений по 3 точкам. До 1969 г. отбор проб проводился по девяти точкам, в последующие годы — по трем, поэтому для сравнения приведены данные по девяти и трем точкам.

По качественному составу также намечена тенденция к изменению. Так, в начальный период исследований грунтовые воды были отнесены к содово-сульфатному типу засоления, при этом ионы HCO_3^- преобладали над ионами Cl^-, катионы $Na^+ + K^+$ преобладали над катионами $Ca^{2+} + Mg^{2+}$. В конце наблюдений произошло уменьшение катионов $Na^+ + K^+$, что привело к преобладанию катио-

Таблица 17. Динамика минерализации грунтовых вод в междреньях на опытном участке в колхозе «Победа» за период весна 1966 — осень 1972 гг., г/л

Междренье	Число наблюдений	1966 г.		1967 г.		1968 г.		1969 г.		1970 г.		1971 г.		1972 г.	
		весна	осень	весна	осень	весна	осень	весна	осень	весна	осень	весна	осень	весна	осень
К-28-4—	9	10,962	8,435	8,234	7,919	6,844	8,013	8,391	7,723	—	—	—	—	—	—
Д-28-3-7	3	10,494	6,001	8,914	7,846	7,342	7,824	7,153	6,668	4,560	4,250	7,477	5,764	5,186	4,178
Д-28-3-7—	9	10,549	7,265	7,089	7,732	6,420	7,003	8,620	6,478	—	—	—	—	—	—
Д-28-3-6	3	13,467	8,934	7,588	10,192	8,076	8,841	5,586	6,994	6,661	7,510	7,538	6,066	6,113	5,935
Д-28-3-6—	9	8,216	8,051	6,679	7,489	6,537	6,917	6,939	6,437	—	—	—	—	—	—
Д-28-3-5	3	7,086	6,942	6,188	6,240	5,984	5,436	4,390	6,276	5,760	6,429	6,956	5,978	6,732	4,188
Д-28-3-5—	9	4,617	5,345	3,459	3,687	3,025	3,202	4,966	3,218	—	—	—	—	—	—
К-28-3	3	5,510	6,442	4,204	4,080	3,933	3,252	3,606	3,310	2,268	5,306	3,153	4,020	2,874	3,652

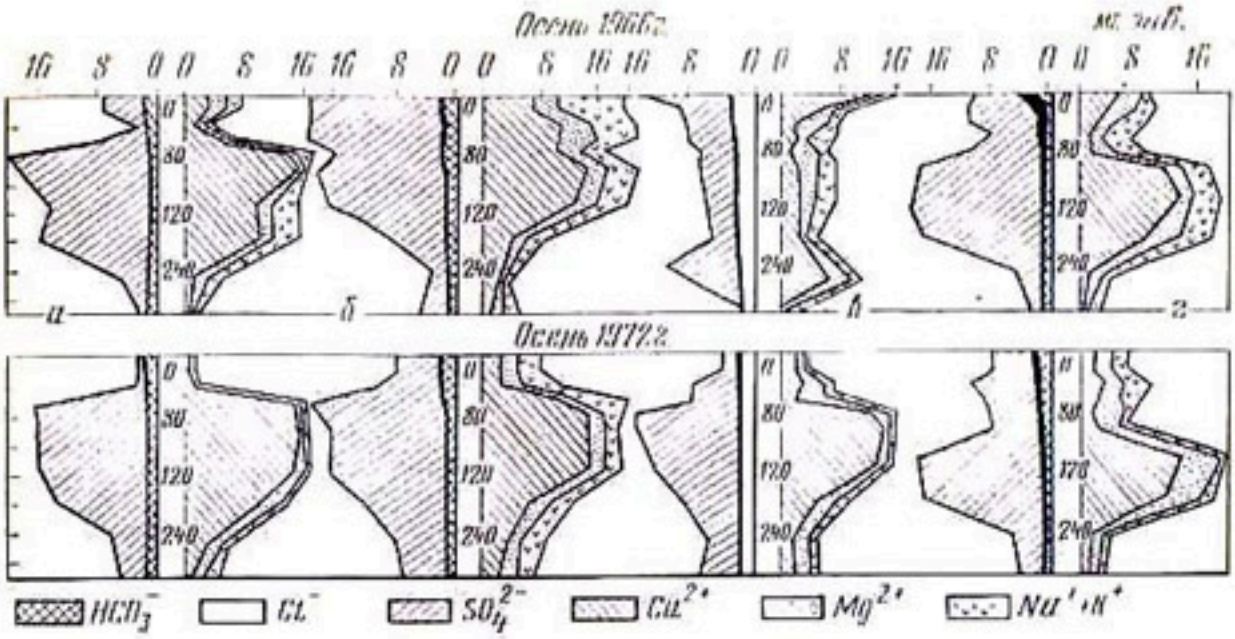


Рис. 5. Солевые профили по точкам, расположенным в середине междрений основного створа на опытном участке в колхозе «Победа» Калининского района:

а — точка № 5 в междренье К-28-3 — Д-28-3-7; *б* — точка № 14 в междренье Д-28-3-7 — Д-28-3-6; *в* — точка № 23 в междренье Д-28-3-6 — Д-28-3-5; *г* — точка № 32 в междренье Д-28-3-5 — К-28-4.

нов $Ca^{2+}+Mg^{2+}$ и отсутствию иона CO_3^{2-}. Отношение Cl^-/SO_4^{2-} и HCO_3^-/Cl^- осталось прежним, то есть соответственно $<0{,}2$ и >1, но тип минерализации грунтовых вод стал сульфатным.

Статистическая обработка опытных данных (табл. 17) показала, что минерализация грунтовых вод даже в пределах одного междренья очень изменчива. Наибольшая вариация минерализации грунтовых вод (табл. 18, 19), характерная для междренья Д-28-3-5—К-28-4, 56,2% в 1966 г. и 79% в 1972 г. Анализ данных по минерализации грунтовых вод показывает, что по всем меж-

Таблица 18. **Статистические характеристики степени минерализации грунтовых вод на опытном участке в колхозе «Победа» за 1966 г.**

Показатели	Междренье							
	К-28-3—Д-28-3-7		Д-28-3-7—Д-28-3-6		Д-28-3-6—Д-28-3-5		Д-28-3-5—К-28-4	
	весна	осень	весна	осень	весна	осень	весна	осень
n, число наблюдений	8	8	9	9	9	9	9	9
$\overline{x}$, г/л	10,962	8,435	10,549	7,265	8,216	8,051	4,617	5,345
S, "	3,72	2,46	3,91	2,76	3,31	2,66	1,53	3,0
V, %	34,0	29,2	37,10	37,0	40,30	33,10	31,0	56,2
$\overline{S}_x$, г/л	1,315	0,927	1,3	0,92	1,1	0,887	0,51	1,00
P, %	12,0	11,0	12,30	12,50	13,0	11,0	10,5	18,7

Таблица 19. **Статистические характеристики степени минерализации грунтовых вод в междуречьях на опытном участке в колхозе «Победа» за 1972 г.**

Показатели	Междуречье							
	К-28-3—Д-28-3-7		Д-28-3-7—Д-28-3-6		Д-28-3-6—Д-28-3-5		Д-28-3-5—К-28-4	
	весна	осень	весна	осень	весна	осень	весна	осень
n, число наблюдений	3	3	2	2	2	1	3	3
$\overline{x}$, г/л	5,186	4,178	6,113	5,935	6,732	4,188	2,874	3,652
S, „	1,685	0,048	1,108	1,338	2,20	—	1,13	2,88
V, %	32,4	11,4	18,1	22,58	32,80	—	39,0	79,0
$\overline{S}_x$, г/л	0,97	0,028	0,8	0,94	1,56	—	0,65	1,66
P, %	18,0	6,0	13,0	15,87	23,0	—	22,0	45,0

дреньям происходит уменьшение минерализации в количественном и в качественном отношении. Тип минерализации меняется с содово-сульфатного на сульфатный.

Минерализация дренажных вод (табл. 20) также неодинакова во времени и в пространстве, однако изменение во времени не столь существенно по сравнению с изменением в пространстве.

Динамика засоления почвогрунтов на опытном участке в совхозе «Чалдовар» (табл. 21) показала, что изменение засоления во времени не столь существенно, однако есть тенденция к засолению (пять междуречий из шести).

Динамика минерализации грунтовых вод (табл. 22) с 1967 по 1972 г. различна в разных междуречьях. Тип минерализации остается постоянно содово-сульфатным. Статистическая обработка опытных данных показала значительные изменения минерализации грунтовых вод.

Динамика минерализации дренажных вод (табл. 23) показывает, что четкой тенденции к увеличению или уменьшению минерализации дренажных вод нет, видимо, из-за сбросов оросительной воды в открытую дренажную сеть.

На участке в колхозе им. Ярославского резких изменений в засолении почвогрунтов, грунтовых и дренажных вод в пространстве и во времени не наблюдается.

Структура водного и солевого баланса. В условиях орошения и искусственного дренирования основные элементы водного баланса следующие: поступление поверхностных вод (оросительные и промывные), отток подземных вод (дренажные). Существенное значение имеет суммарное испарение. В таблице 24 приведена структура водного баланса по отдельным опытным участкам Чуйской долины. Удельный вес каждой из составляющих приходных и расходных статей неодинаков. На востоке Чуйской долины (Киргизская опытно-мелиоративная станция) на долю подземного притока приходится до 73% всех приходных статей, дренажный сток соответственно составляет 61% суммы расходных статей. На западе и северо-западе Чуйской долины доля подземного притока уменьшает-

Таблица 20. **Динамика минерализации дренажных вод на опытном участке в колхозе «Победа» за период 1966—1972 гг., г/л**

Название дрены	Расстояние от начала дрены, м	1966 г.		1967 г.		1968 г.		1969 г.		1970 г.		1971 г.		1972 г.	
		весна	осень	весна	осень	весна	осень	весна	осень	весна	осень	весна	осень	весна	осень
К-28-3	0	3,460	2,100	1,848	—	2,332	2,192	2,660	2,108	—	—	—	—	—	—
	200	—	2,378	4,008	2,388	1,380	—	2,320	—	—	—	—	—	2,516	—
	600	2,774	—	4,116	2,542	2,100	—	—	—	—	—	—	—	—	—
(Устье)	2400	—	—	3,700	—	2,392	2,308	2,620	2,340	2,408	—	—	—	2,448	—
Д-28-3-7	0	—	—	5,096	4,540	3,428	3,120	3,000	2,860	—	—	2,632	—	—	—
	200	4,352	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	400	—	5,152	5,825	5,340	—	4,810	—	—	5,080	5,416	5,460	5,400	4,624	4,488
	600	4,912	5,008	5,660	5,368	4,716	4,850	—	5,428	—	—	—	—	—	—
	2400	—	—	5,370	5,164	5,458	4,340	5,370	4,012	5,224	3,580	5,280	—	—	—
Д-28-3-6	0	—	—	4,020	3,512	2,868	—	1,200	—	—	—	—	—	—	—
	200	2,114	1,778	2,234	2,484	1,890	2,520	—	1,160	—	—	—	—	—	—
	400	—	2,967	—	—	3,752	4,290	—	—	3,380	2,560	4,296	3,600	3,400	2,504
	600	5,022	3,624	5,048	5,840	5,120	4,180	—	5,752	—	—	—	—	—	—
	2400	—	—	2,960	3,372	3,752	—	3,010	2,932	2,418	3,212	3,222	—	2,938	—
Д-28-3-5	0	—	—	4,392	3,124	3,208	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	200	3,026	3,894	4,584	—	3,520	3,656	3,590	3,392	—	—	—	—	—	—
	400	—	3,925	—	—	—	—	—	—	3,330	3,792	3,876	3,714	2,502	3,808
	600	3,678	3,470	—	4,008	3,570	3,448	3,500	3,400	—	—	—	—	—	—
	2400	—	—	3,272	4,052	2,888	—	2,160	3,108	—	3,364	3,384	—	3,700	—
К-28-4	0	—	—	1,200	—	1,028	1,110	1,400	—	—	—	—	—	—	—
	200	1,128	—	—	1,332	1,028	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	400	—	—	—	—	—	—	—	2,420	1,576	0,716	1,684	1,080	0,816	0,952
	600	1,230	—	1,160	1,122	2,310	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	2400	—	—	1,028	—	—	1,81	2,00	2,604	1,952	2,036	—	—	2,488	—

Таблица 21. **Динамика засоления метрового слоя почвогрунтов, %**

Участок	Междренье	1965 г.		1966 г.		1967 г.		1968 г.		1969 г.	
		весна	осень	весна	осень	весна	осень	весна	осень	весна	осень
Совхоз „Чалдовар"	Д-29-2-3—Д-29-2-4	0,673	0,872	—	1,284	0,885	0,814	—	1,086	1,116	0,889
	Д-29-2-4—Д-29-2-5	0,737	0,737	—	0,943	0,912	0,887	0,582	1,268	0,790	1,056
	Д-30-17—Д-30-18 (поле 2)	—	—	1,124	1,00	1,121	—	0,956	—	0,971	—
	Д-30-17—Д-30-18 (поле 4)	—	—	0,154	0,220	0,338	0,327	—	0,370	0,444	—
	Д-30-18—Д-30-19	—	—	1,323	1,238	1,472	1,106	1,153	1,275	1,324	—
	Д-30-19—Д-30-20	—	—	1,274	—	1,150	1,061	1,027	1,201	1,167	—
Колхоз им. Ярославского	Д-30-3-1—Д-30-3-2	0,120	0,112	0,091	0,096	0,106	0,138	0,089	0,092	0,110	—
	Д-30-3-2—Д-30-8	0,108	0,105	—	—	0,106	0,138	0,113	0,139	0,132	—

Таблица 22. **Динамика минерализации грунтовых вод между дренами, г/л**

Участок	Междренье	1967 г.		1968 г.		1969 г.		1971 г.	1972 г.
		весна	осень	весна	осень	весна	осень	весна	осень
Совхоз „Чалдовар"	Д-29-2-3—Д-29-2-4	11,252	15,632	6,808	6,780	7,108	5,736	6,584	5,236
	Д-30-17—Д-30-18 (поле 2)	8,804	6,768	7,960	17,800	7,896	11,201	—	—
	Д-30-17—Д-30-18 (поле 4)	19,50	—	12,670	9,012	6,176	11,716	—	—
	Д-30-18—Д-30-19	8,488	9,244	7,860	20,090	9,812	5,176	—	—
	Д-30-19—Д-30-20	7,560	5,316	5,670	5,840	5,808	16,108	—	—
Колхоз им. Ярославского	Д-30-3-1—Д-30-3-2	0,696	0,684	0,696	0,780	0,632	0,576	0,530	0,572
	Д-30-3-2—Д-30-8	—	—	0,580	0,770	0,504	0,604	0,517	0,584

Таблица 23. **Динамика минерализации дренажных вод, г/л**

Название дрены	1963 г.		1964 г.		1965 г.		1966 г.	
	весна	осень	весна	осень	весна	осень	весна	осень
				Совхоз				
Д-29-2-5*	2,83	2,10	—	3,11	2,59	—	2,49	3,67
Д-29-2-4*	3,50	1,25	3,15	5,18	3,81	—	4,77	2,01
Д-29-2-3*	—	—	—	1,16	1,78	—	1,89	—
Д-30-20*	—	3,096	2,384	2,792	2,268	2,844	—	2,456
Д-30-19*	5,264	4,862	4,924	4,788	4,532	4,376	—	4,134
Д-30-18**	6,992	5,400	5,636	6,792	5,112	5,392	5,94	4,752
Д-30-17**	3,268	5,044	3,920	3,376	4,812	2,880	2,556	—
				Колхоз им.				
Д-30-3-1***								
Д-30-3-2***	—	—	—	—	—	—	—	—
Д-30-8***	—	—	—	—	—	—	—	—

* Устье.
** Исток.
*** Исток / Устье.

ся и составляет 15—53% суммы приходных статей, при этом существенное значение оказывает поступление оросительных вод. Доля дренажного стока составляет 10—40% суммы расходных статей.

Для условий засоленных или склонных к засолению земель значительную роль приобретает отношение интенсивности расходования и поступления воды. Считается, что идет процесс засоления, когда отношение это больше единицы, и наоборот, когда оно меньше единицы, происходит рассоление.

В условиях Чуйской долины по среднемноголетним данным интенсивность суммарного испарения, подсчитанная по формуле Н. Н. Иванова (Каплинский, Карташов, 1972), составляет 327,4 м³/с, или 11 320 м³/га в год (3,1 мм/сут) при коэффициенте вариации 8,6%. Интенсивность осадков — 115,3 м³/с, или 3980 м³/га (1,09 мм/сут) при коэффициенте вариации 20%. Это означает, что без орошения, когда минерализованные грунтовые воды расположены выше критической глубины, будет происходить процесс засоления, так как

$$V = \frac{3,1}{1,09} = 2,84 > 1.$$

1967 г.		1968 г.		1969 г.		1971 г.		1972 г.	
весна	осень	весна	осень	весна	осень	весна	осень	весна	осень
„Чалдовар"									
1,01	1,36	2,14	6,22	2,62	1,77	1,958	—	—	2,160
5,14	3,66	3,51	3,54	4,41	3,61	3,808	—	—	4,284
—	—	—	1,58	—	1,512	1,319	—	—	—
2,44	1,78	—	1,816	1,82	1,460	—	—	—	—
4,02	3,872	3,52	—	3,48	3,824	—	—	—	—
2,228	—	—	3,276	3,592	4,992	—	—	—	—
2,816	4,168	2,91	2,84	4,088	5,328	—	—	—	—
Ярославского									
0,48	—	0,492	0,680	0,436	0,512	—			
—		0,612	0,696	0,636	0,716	0,585	—	—	—
0,400	—	0,444	0,670	0,484	0,484	—	—	—	0,476
0,548	0,656	0,470	0,500	0,464	0,524	0,530			0,476
				0,416	0,271	—	—	—	—
				0,584	0,276	0,490			

При орошении это отношение меняется в сторону его уменьшения. Так, на засоленных почвах для свекловичного севооборота оросительная норма с учетом профилактических поливов на один комплексный гектар для VII, VIII и VI гидромодульных районов может быть 5490—7155 м³/га, или 1,5—1,96 мм/сут и отношение $V = \frac{3,1}{1,09 + (1,5 \div 1,96)} = 1,20—1,02$ будет приближаться к единице.

Практически это означает, что водный баланс, складывающийся на орошаемой территории, не повлияет на изменение существующего режима засоления почвогрунтов. Данные по динамике засоления почвогрунтов на опытных участках полностью подтверждают это высказывание. Данные по отдельным элементам водного баланса за период 1966—1969 гг. по опытному участку в колхозе «Победа» (табл. 25) показывают, что наиболее благоприятные условия по водному балансу с точки зрения возможного рассоления почвогрунтов сложились между дренами Д-28-3-7—Д-28-3-6, так как здесь наблюдается равенство между поступлением и расходованием воды.

Таблица 24. Структура водного баланса по опытным участкам

Название опытного участка	Междуречье	Период, год	Глубина грунтовых вод, м		Приход			
					осадки		водоподача	
			начало	конец	м³/га	%	м³/га	%
Киргизская опытно-мелиоративная станция	Д-1—Д-2	1953	1,37	1,27	3480	15,1	2560	11,3
		1957	1,32	1,13	2768	14,3	2948	15,2
		Среднее за 1953—1957	1,37	1,13	2893	13,7	2855	13,5
Колхоз им. Калинина Калининского района	С-3-3—С-3-4	1955	1,39	1,39	2995	20,0	4084	27,3
		1956	1,46	1,46	3947	23,8	5237	31,6
Каиндинский опытный участок		1959	—	—	3199	35,6	3487	38,9
		1962	—	—	3960	35,2	1333	11,8
Колхоз „Победа" Калининского района	К-28-3—Д-28-3-7	1967	2,48	2,48	3415	29,0	2733	23,2
	Д-28-3-7—Д-28-3-6	1968	2,48	2,49	3984	33,9	3157	26,8
	Д-28-3-6—Д-28-3-5	1966	2,48	2,48	3545	36,8	2245	23,3
	Д-28-3-5—К-28-4	1968	2,75	2,75	3994	34,9	3265	28,5
Совхоз „Чалдовар" Калининского района	Д-30-20—Д-30-19	1963	—	—	4319	30,5	3970	28,0
		1965	—	—	3513	26,2	3543	26,4
	Д-30-18—Д-30-17	1964	—	—	3672	37,0	4720	47,6
		1965	—	—	3513	33,1	3543	33,4

Так как солевой баланс рассматриваемой толщи почвогрунтов в условиях орошения и дренирования неразрывно связан с водным балансом и составляется на основе его, в общем виде можно записать:

$$\pm\Delta S = S_{ос} + S_{вод} + S_{п.гр} - S_{др} - S_{ур}, \qquad (6)$$

где $\pm\Delta S$ — изменение запасов солей в почвогрунтах за определенный промежуток времени; $S_{ос}$ — поступление солей с атмосферными осадками; $S_{вод}$ — поступление солей с оросительными водами; $S_{п.гр}$ — поступление солей за счет испарения грунтовых вод, величина которого определяется по формуле С. Ф. Аверьянова:

горизонтального дренажа в Чуйской долине

Приход				Расход						Приход минус расход
приток подземных вод		итого		испарение		дренажный сток		итого		
м³/га	%	м³/га	%	м³/га	%	м³/га	%	м³/га	%	м³/га
16 661	73,6	22 641	100,0	8328	37,2	14 158	62,8	22 486	100,0	155
13 668	70,5	19 384	100,0	8001	41,9	11 070	58,1	19 071	100,0	310
15 369	72,8	21 117	100,0	8266	39,1	12 853	60,9	21 119	100,0	—2
7 890	52,7	14 969	100,0	8932	61,7	5 513	38,3	14 445	100,0	524
7 394	44,6	16 538	100,0	9738	59,5	6 590	40,5	16 328	100,0	210
2 273	25,5	8 959	100,0	7931	89,0	980	11,0	8 911	100,0	48
5 944	53,0	11 237	100,0	7794	67,8	3 699	32,2	11 493	100,0	—256
5 606	47,8	11 754	100,0	7814	66,5	3 930	33,5	11 744	100,0	10
4 643	39,3	11 784	100,0	8737	67,6	4 172	32,4	12 909	100,0	1125
3 847	39,9	9 637	100,0	8235	90,6	855	9,4	9 090	100,0	547
4 171	38,6	11 430	100,0	8956	79,0	2 365	21,0	11 321	100,0	109
5 901	41,5	14 190	100,0	8230	57,1	6 158	42,9	14 388	100,0	—198
6 353	47,4	13 409	100,0	8605	69,8	3 724	30,2	12 329	100,0	1080
1 519	15,4	9 911	100,0	8028	80,8	1 923	19,2	9 951	100,0	—40
3 553	33,5	10 609	100,0	8605	75,0	2 835	25,0	11 440	100,0	—831

$$q = q_0 \left(1 - \frac{h}{H_0} \right)^{1,5}, \qquad (7)$$

q_0 — испаряемость, определяемая по формуле Н. Н. Иванова, которая составляет 1195 мм в год по Калининской метеостанции и 1132 мм в год всей Чуйской долины; H_0 — критическая глубина грунтовых вод, около 3 м; h — среднегодовая глубина залегания грунтовых вод в междуречье; $S_{др}$ — вынос солей дренажным стоком; $S_{ур}$ — вынос солей с урожаем сельскохозяйственных культур.

Таблица 25. **Элементы водного баланса по опытному участку в колхозе «Победа» за период 1966—1969 гг., м³/га**

Междуречье	Осадки O	Водоподача B	$V_2 = O+B$	Суммарное испарение V_1	$\overline{V} = \frac{V_1}{V_2}$	Дренажный сток $Д$
К-28-3—Д-28-3-7	3497	2507	6004	8001	1,33	3610
Д-28-3-7—Д-28-3-6	3497	4060	7557	8001	1,05	3924
Д-28-3-6—Д-28-3-5	3497	3128	6625	8001	1,21	958
Д-28-3-5—К-28-4	3497	2886	6383	8001	1,25	2415

Таблица 26. **Среднегодовое испарение грунтовых вод и поступление солей в почвогрунты по опытным участкам Чуйской долины**

Опытный участок	Междуречье	Среднегодовая глубина грунтовых вод, м	Испарение с грунтовых вод по формуле (7), м³/га	Минерализация грунтовых вод, г/л	$S_{и.гр.}$ т/га
Колхоз им. Ярославского	Д-30-3-2—Д-30-3-1	2,16	1770	0,6	1,06
Колхоз „Победа“	К-28-3—Д-28-3-7	2,48	865	8,0	6,95
	Д-28-3-7—Д-28-3-6	2,49	865	8,0	6,95
	Д-28-3-6—Д-28-3-5	2,48	865	7,0	6,95
	Д-28-3-5—К-28-4	2,75	280	4,0	1,12
Совхоз „Чалдовар“	Д-29-2-3—Д-29-2-4	2,41	1048	6,0	6,28
	Д-29-2-4—Д-29-2-5	2,09	2010	9,0	18,09
	Д-30-19—Д-30-20	1,57	3930	10,0	39,30
	Д-30-17—Д-30-18	1,57	3930	6,0	23,60

Анализ составляющих уравнения (6) показывает, что в количественном отношении доля каждого элемента солевого баланса зависит от соотношения элементов водного баланса и от минерализации воды.

Например, участие атмосферных осадков за ограниченный промежуток времени в приходных статьях солевого баланса весьма незначительно и в среднем за год по Чуйской долине не превышает 0,09 т/га (минерализация атмосферных осадков 0,0233 г/л, среднегодовое количество их по среднемноголетним данным 3980 м³/га). Участие оросительных вод за тот же промежуток времени в приходных статьях баланса будет несколько больше, так как минерализация оросительной воды на один порядок выше минерализации атмосферных осадков, однако существенно они не влияют на изменение

Таблица 27. Составляющие элементы солевого баланса по опытному участку в колхозе «Победа», т/га

Междренье	Расчетный период	$S_{ос}$	$S_{вод}$	$S_{п.гр}$	$S_{др}$	$S_{ур}$	$\Delta S = \Sigma S_{прих} - \Sigma S_{расх}$
К-28-3—	Весна 1966—						
Д-28-3-7	весна 1967	0,12	0,85	5,91	4,03	0,72	2,12
	Весна 1967— весна 1968	0,11	0,83	4,17	5,15	0,72	—0,76
	Весна 1968— весна 1969	0,11	0,60	4,02	4,12	0,72	—0,11
	Среднегодовое	0,11	0,76	4,70	4,43	0,72	0,42
Д-28-3-7—	Весна 1966—						
Д-28-3-6	весна 1967	0,12	1,03	7,39	2,82	0,72	5,00
	Весна 1967— весна 1968	0,11	1,71	3,86	5,06	0,72	—0,10
	Весна 1968— весна 1969	0,13	0,95	3,20	5,70	0,72	—2,14
	Среднегодовое	0,12	1,23	4,82	4,53	0,72	0,92
Д-28-3-6 —	Весна 1966—						
Д-28-3-5	весна 1967	0,12	0,68	7,55	1,00	0,72	6,63
	Весна 1967— весна 1968	0,11	1,03	7,40	1,24	0,72	6,58
	Весна 1968— весна 1969	0,13	1,13	9,26	1,02	0,72	8,78
	Среднегодовое	0,12	0,95	8,07	1,09	0,72	7,33
Д-28-3-5—	Весна 1966—						
К-28-4	весна 1967	0,12	0,85	2,12	1,47	0,72	0,91
	Весна 1967— весна 1968	0,11	0,79	1,39	2,39	0,72	—0,82
	Весна 1968— весна 1969	0,13	0,99	1,14	2,05	0,72	—0,51
	Среднегодовое	0,12	0,88	1,55	1,97	0,72	—0,14

солевого баланса. Приход солей за счет оросительной воды составляет около 1,66—2,16 т/га при минерализации ее 0,303 г/л и оросительной норме 5490—7155 м³/га.

Наиболее существенное влияние на изменение солевого баланса может оказать испарение с грунтовых вод. Чем выше минерализация и ближе к поверхности расположены грунтовые воды, тем значительнее будет доля участия их в приходных статьях баланса. В таблице 26 дан расчет среднегодового испарения с грунтовых вод по формуле (7) и возможной величине поступления солей в почвогрунты за счет этого испарения по некоторым опытным участкам.

Очевидно, что при бóльшей минерализации грунтовых вод поступление солей за счет испарения грунтовых вод будет больше при одной и той же среднегодовой глубине залегания грунтовых вод.

Поступление солей за счет испарения с грунтовых вод не одинаково на отдельных участках и между дренами. В условиях практически незасоленных грунтовых вод, например на опытном участке в колхозе им. Ярославского, доля участия грунтовых вод в приходных статьях солевого баланса имеет тот же порядок, что и оросительных и практически несущественна. При значительной минерализации грунтовых вод и близком их залегании к поверхности земли, например на опытном участке открытого дренажа в совхозе «Чалдовар», доля участия грунтовых вод в изменении солевого баланса увеличивается. Таким образом, наиболее существенным является поступление солей в почвогрунты за счет испарения грунтовых вод.

Расходные статьи солевого баланса представлены выносом солей дренажными водами и сельскохозяйственными растениями. Вынос солей растениями незначителен и имеет тот же порядок, что и поступление солей с оросительными водами. Вынос солей дренажем зависит от минерализации дренажной воды и самого стока. Ориентировочно среднегодовой вынос солей дренажем составляет 2—8 т/га при минерализации дренажной воды 3—6 г/л и дренажном стоке 2000—4000 м³/га.

В качестве иллюстрации в таблице 27 представлены составляющие солевого баланса между дренами опытного участка в колхозе «Победа» за один год. По трем междреньям складывается плюсовой баланс, по одному — минусовой. Однако полученные значения изменения запасов солей в почвогрунтах в количественном отношении весьма незначительны. Так, запас солей в 3-метровой толще составляет около 300 т/га для трех междрений и 100 т/га для междренья Д-28-3-5—К-28-4. Следовательно, изменения запасов солей в среднем за год, полученные по солевому балансу, составляют 0,14—3,03% исходных запасов. Учитывая, что фактическое изменение засоления почвогрунтов по плотному остатку на опытном участке в колхозе «Победа» имеет определенную степень варьирования и коэффициент вариации может быть 10—20%, следует признать изменение запаса солей по водно-солевому балансу, сложившемуся на рассматриваемой территории, несущественным.

Таким образом, анализ структуры водного и солевого баланса, а также динамики засоления почвогрунтов, грунтовых и дренажных вод по опытным участкам горизонтального дренажа позволяет сделать следующие выводы.

Орошение и дренаж благотворно сказываются на солевом балансе почвогрунтов опытных участков. Практически годовой солевой баланс равняется нулю. За счет орошения и нормально работающего дренажа происходит медленное, но неуклонное уменьшение минерализации грунтовых и дренажных вод. В числе мероприятий по борьбе с засолением орошаемых земель дренаж — один из самых эффективных и действенных.

Оценка мелиоративного состояния земель на фоне дренажа. При анализе эффективности работы существующей коллекторно-дренажной сети выделены периоды: первый, когда дренаж функционировал нормально, и второй, когда дренаж практически перестал нормально выполнять свои функции. Следует отметить, что

еще при строительстве дренажа были допущены отступления от проекта.

Строительство закрытого горизонтального дренажа началось с 1960 г. на территории IV дистанции Западного БЧК. На этой территории было запроектировано три опытных участка в условно выделенных трех гидрогеологических районах (I — с относительно обеспеченным, II и III — со слабо обеспеченным поверхностным стоком и подземным оттоком).

В I гидрогеологическом районе (участок в колхозе им. Ярославского) глубина заложения дрен $t=2$ м, расстояние между дренами $B=260—320$ м, во II районе (участок в совхозе «Чалдовар») $t=3{,}5$ м, $B=330$ м, в III районе (участок в колхозе «Победа») $t=3{,}5$ м, $B=400—500$ м.

В конструктивном отношении дренаж выполнен из асбестоцементных труб диаметром 141, 189 и 243 мм (общая длина дрены 2,4 км).

Вода поступала в дрены через круглые отверстия диаметром $d=5—10$ мм, расположенные в три ряда на $^1/_3$ периметра трубы в шахматном порядке. Трубы перфорированной частью укладывали на гравийную подготовку толщиной 30 см. Фильтрационная обсыпка двухслойная: первый слой из мелкого гравия диаметром 5—30 мм, второй слой из песчано-гравийной смеси диаметром фракций менее 10 мм. Толщина каждого слоя 10 см.

Такой дренаж обеспечивает поддержание уровней грунтовых вод на требуемых глубинах, однако из-за нарушений правил эксплуатации дренажных систем, выражающихся, в частности, в попадании оросительной воды в наддренные полосы, образуются промоины, обвалы, каверны и происходит зависание дренажных линий.

В последующие годы закрытый горизонтальный дренаж начали строить в Чуйской долине из керамических труб длиной 0,8 м каждая с раструбным соединением. Поступление воды обеспечивалось через нижнюю часть кольцевого зазора размером $t_з=20$ мм и водоприемные отверстия диаметром $d=12$ мм, устроенные в нижней трети трубы. На одно звено приходилось 8—10 отверстий. Верхняя часть кольцевого зазора была покрыта полиэтиленовой пленкой. Фильтрационная обсыпка двухслойная: первый слой из мелкого гравия $d=5—20$ мм толщиной 10—23 см, второй слой из крупного и среднего песка или гравийно-песчаной смеси $d=5$ мм, толщиной 40 см. Детальные исследования такого дренажа проводились в 1970—1972 гг. на участке в колхозе им. Ильича Калининского района. Фактическая глубина дрен на этом участке 2,6—3,5 м, междренные расстояния 208—276 м.

При оценке изменения мелиоративной обстановки на фоне горизонтального дренажа сопоставлялись: глубина залегания грунтовых вод, изменение степени засоления почвогрунтов в метровом слое и степени минерализации грунтовых вод до и после строительства дренажа. Оценка дана для двух периодов работы дренажа: при нормальной работе и в период невыполнения своих функций из-за нарушений правил эксплуатации.

На основании анализа материалов исследований представляется возможным сделать следующие выводы.

1. **Изменение уровня грунтовых вод.** При нормальной работе дренажа отмечено снижение уровня грунтовых вод на больших площадях. Снижение уровня грунтовых вод отмечается на II дистанции Западного БЧК с осени 1946 г. по осень 1957 г., по III дистанции

Западного БЧК с осени 1952 г. по осень 1958 г. на общей площади 8913 га.

К осени 1955 г. на площади 61 655 га, подкомандной IV дистанции Западного БЧК, уровни грунтовых вод находились на глубине 2,8 м. К осени 1960 г. на площади 48 012 га, подкомандной II дистанции Западного БЧК, и на площади 44 567 га, подкомандной III дистанции Западного БЧК, уровни грунтовых вод находились соответственно на глубине 2,46 и 2,48 м.

Даже при плохой работе дренажа к 1970—1971 гг. по отдельным хозяйствам на общей площади 7627 га произошло снижение уровня грунтовых вод по сравнению с 1952—1959 гг. Когда дренаж совершенно не работал, отмечено повышение уровня грунтовых вод. Так, к весне 1970 г. в Учхозе Киргизского сельскохозяйственного института на площади 863 га и в I отделении совхоза «Чалдовар» на площади 1300 га произошел подъем уровня грунтовых вод по сравнению с весной 1955 г.

2. **Изменение минерализации грунтовых вод.** В первый период работы дренажа на II и III дистанциях Западного БЧК существенных изменений в минерализации грунтовых вод не было. Так, на II дистанции Западного БЧК средневзвешенная по площади минерализация грунтовых вод на 1946 г. составила 3,11 г/л, на 1957 г.— 3,41 г/л. На III дистанции Западного БЧК к весне 1960 г. средневзвешенная по площади минерализация грунтовых вод составила 2,66 г/л.

Однако на отдельных площадях происходило уменьшение или увеличение минерализации грунтовых вод. Так, на III дистанции участка Московского района за 8-летний период произошло уменьшение минерализации и практически на всей площади она составляла 2 г/л. На северном участке колхоза им. Фрунзе III дистанции БЧК за 6-летний период минерализация грунтовых вод увеличилась с 3,29 до 6,35 г/л.

Во второй период работы дренажа также на значительных площадях минерализация грунтовых вод не изменилась, а если и есть некоторые изменения, то в основном в сторону увеличения. Так, по отдельным хозяйствам на 1970—1971 гг. изменения минерализации не произошло на площади 5483 га (средняя минерализация в пределах 4,89—7,36 г/л); увеличение произошло на площади 6092 га (средняя минерализация 4,36—6,95 г/л); уменьшение произошло на площади 1040 га (средняя минерализация 1—1,84 г/л).

3. **Изменение степени засоления почвогрунтов.** В первый период работы дренажа на II дистанции Западного БЧК на площади 2952 га произошло уменьшение засоления (почвы слабозасоленные), на III дистанции на площади 3037 га изменений в засолении почвогрунтов не произошло (почвы слабозасоленные), на площади 660 га произошло уменьшение засоления (почвы среднезасоленные).

Во второй период работы дренажа засоление почвогрунтов по отдельным хозяйствам не изменилось на площади 9169 га (почвы среднезасоленные), засоление изменилось в сторону уменьшения на площади 863 га (почвы среднезасоленные), в сторону увеличения — на площади 1710 га (почвы средне-, сильнозасоленные).

Таким образом, на фоне нормально работающего дренажа:

1. Обеспечивается скорость снижения уровня грунтовых вод в первые дни после полива более 3 см/сут.

2. Обеспечивается поддержание уровня грунтовых вод между дренами на глубинах, исключающих вынос солей в верхние горизон-

ты почвогрунтов. Среднегодовая глубина залегания грунтовых вод 2—2,5 м.

3. Среднегодовой дренажный модуль 0,1—0,4 л/(с · га), закономерно уменьшается с востока на запад.

4. Происходит качественное и количественное изменение минерализации грунтовых вод: тип минерализации вместо содово-сульфатного становится сульфатным; степень минерализации уменьшается в 1,5—2 раза.

5. Уменьшается степень засоления почвогрунтов в верхнем (0—20 см) слое, в слое же 0—300 см практически тенденций к изменению не наблюдается.

6. Годовой солевой баланс в расчетном слое 0—300 или 0—400 см равен нулю.

На фоне неправильной эксплуатации дренажа и прежде всего при создании подпоров в дренах, сбросов оросительной воды в них и как следствие заиления дрен перечисленные показатели в пунктах 2, 4, 6 существенно изменяются, а именно:

среднегодовая глубина залегания грунтовых вод между дренами составляет 1,4—1,5 м; минерализация грунтовых вод имеет тенденцию к некоторому увеличению. Тип минерализации не изменяется: годовой солевой баланс в расчетном слое 0—300 или 0—400 см складывается по типу небольшого накопления легкорастворимых солей.

Общий вывод: дренаж на орошаемых землях способствует улучшению мелиоративной обстановки и позволяет в комплексе с другими мероприятиями создать благоприятные условия для получения высоких урожаев сельскохозяйственных культур.

3. РАСЧЕТ И ПРОЕКТИРОВАНИЕ ГОРИЗОНТАЛЬНОГО ДРЕНАЖА

ГИДРОДИНАМИЧЕСКАЯ КАРТИНА РАБОТЫ ДРЕНАЖА

Динамика грунтовых вод и пьезометрических напоров, а, следовательно, направление движения грунтовых вод в междреньях неодинаковы для различных гидрогеологических зон. Так, в условиях гидрогеологической зоны выклинивания напорных грунтовых вод и отсутствия инфильтрационного питания происходит восходящее движение грунтовых вод в междренье. Если существует инфильтрационное питание, в верхнем слое (1,5—2 м) грунтовые воды движутся в горизонтальной плоскости по направлению к дренам. Ниже этого слоя грунтовые воды передвигаются вниз, просачиваются в более водопроницаемые прослойки, из которых частично выклинивают через дно дрен, частично оттекают далее.

В дрены грунтовые воды поступают через боковую поверхность дрен и со дна (рис. 6).

На периферии подзоны слабого выклинивания грунтовых вод и в зоне транзитного стока динамика грунтовых вод может быть следующих типов:

зависящая от подземного притока и оттока. Исследования на участке закрытого дренажа в совхозе «Чалдовар» без орошения показали (рис. 7), что начиная с июня пьезометрические напоры в водоносных горизонтах начинают падать и к середине сентября имеют наименьшее значение. Затем пьезометрические напоры увеличиваются и к марту — апрелю достигают максимума.

Под действием пьезометрических напоров с июня начинает с запозданием снижаться уровень грунтовых вод, а в октябре — ноябре (также с запозданием) грунтовые воды начинают подниматься;

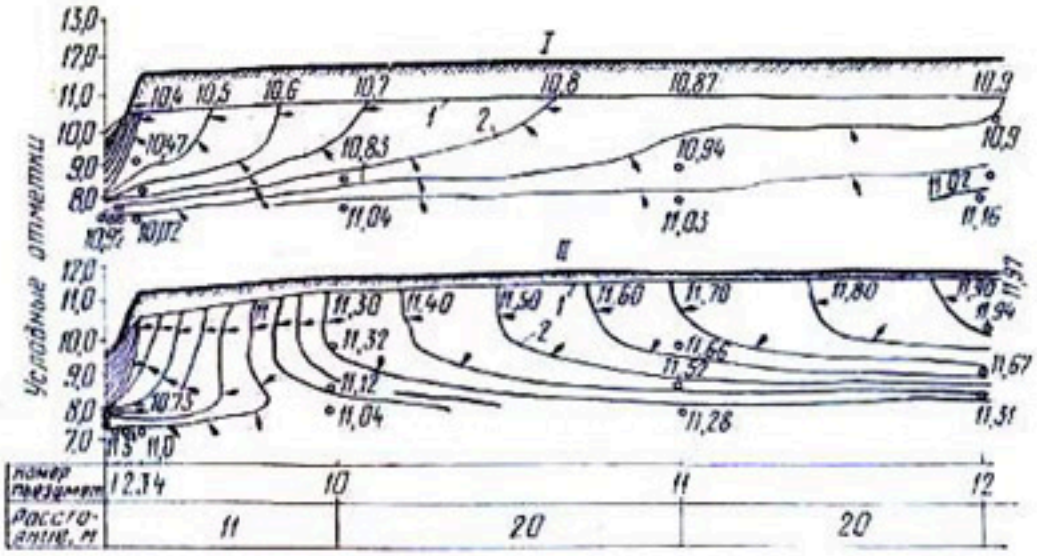


Рис. 6. Распределение напоров в сфере действия дрены:

I — в период отсутствия поверхностных вод (данные на 28 августа 1956 г.); *II* — при поступлении поверхностных вод (данные на 7 июля 1956 г.); *1* — уровень грунтовых вод; *2* — линии равного напора.

зависящая от инфильтрационного питания за счет осадков, поливов и промывок засоленных земель;

зависящая от влияния инфильтрационного питания на соседних участках (фильтрация из оросителей, водоемов и т. п.).

Гидродинамическая картина работы дренажа в рассматриваемых условиях показывает следующее.

При отсутствии инфильтрационного питания и динамике грунтовых вод, обусловленной подземным притоком и оттоком, движение их в междренье отмечается в основном в горизонтальном направлении к дренам.

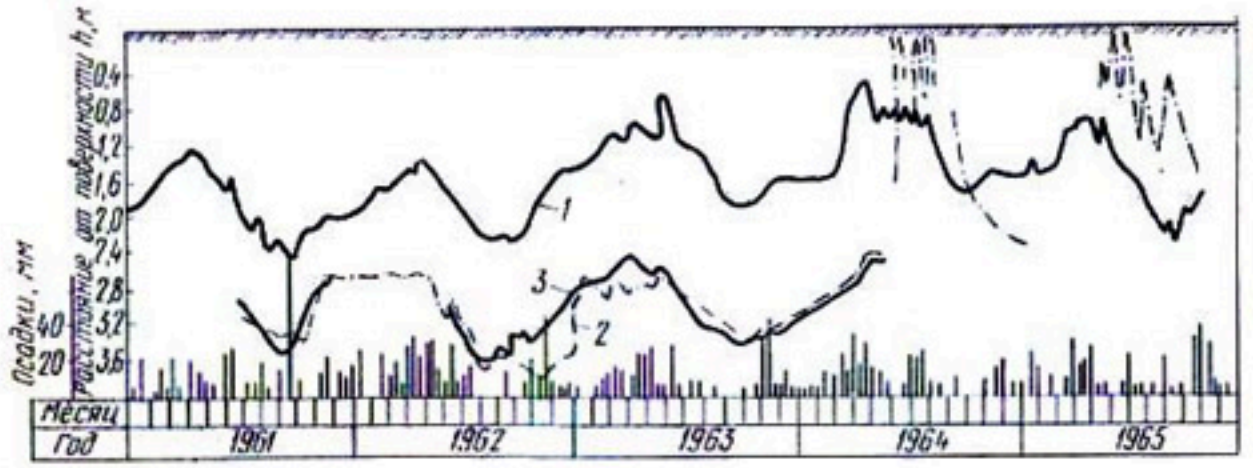


Рис. 7. Динамика уровня грунтовых вод и пьезометрических напоров на участке в совхозе «Чалдовар»:

1 — уровень грунтовых вод без орошения и дренажа; *2* — уровень грунтовых вод по скважине 9 на фоне дренажа; *3* — пьезометрический напор на глубине 8 м от поверхности земли у скважины 9.

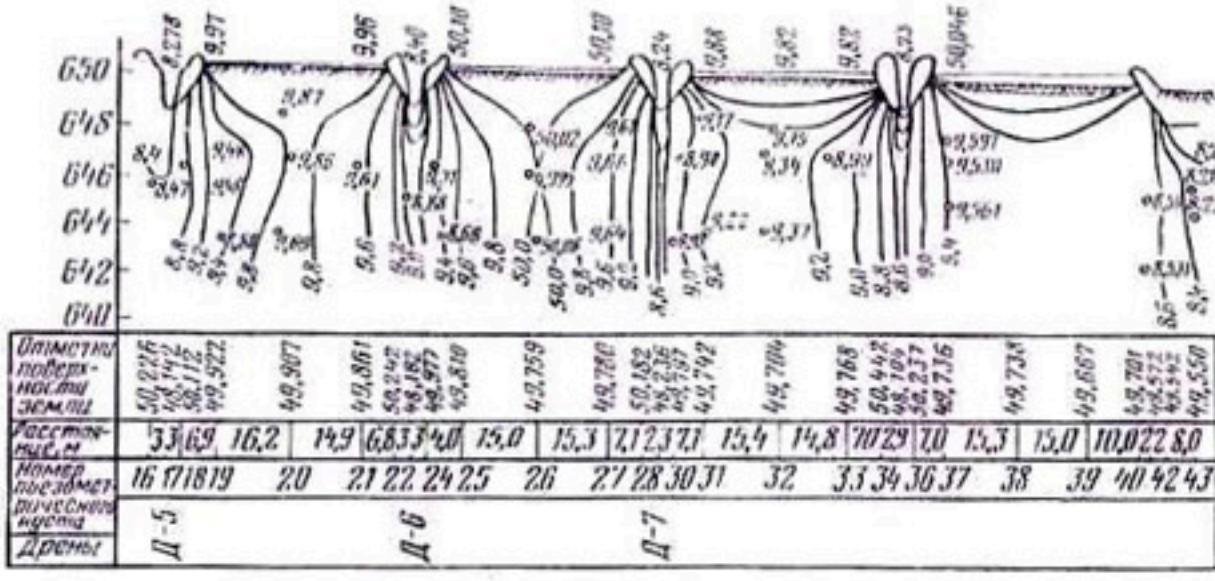


Рис. 8. Линии равных напоров в сфере действия временных дрен на опытном участке в колхозе «Победа».

При значительном, равномерном по площади, инфильтрационном питании передвижение воды в междренье происходит по двум схемам, соответствующим двум периодам его работы. В первый период имеют место только нисходящие токи. Продолжительность его зависит от наличия затопленной поверхности и достаточного оттока грунтовых вод (рис. 8). Пьезометрические напоры в этом случае постепенно увеличиваются при подъеме грунтовых вод за счет инфильтрационного питания, разность между их уровнями сокращается.

Во второй период движение грунтовых вод отмечается в горизонтальном направлении к дренам.

При неравномерном по площади поступлении инфильтрационных вод передвижение воды в междренье происходит также по двум схемам. Первая схема — происходят вертикальные перемещения грунтовых вод, связанные с гидростатическим давлением за счет инфильтрационных вод, поступающих на отдельные участки; на участках с инфильтрационным питанием отмечается нисходящее движение, на смежных — восходящее.

Вторая схема — при сформировавшейся кривой депрессии происходят горизонтальные перемещения грунтовых вод по направлению к дренам. Основное поступление воды в дрены (до 70—80%) происходит снизу неширокой полосой за счет гидростатического давления, созданного напором грунтовых вод в меж-

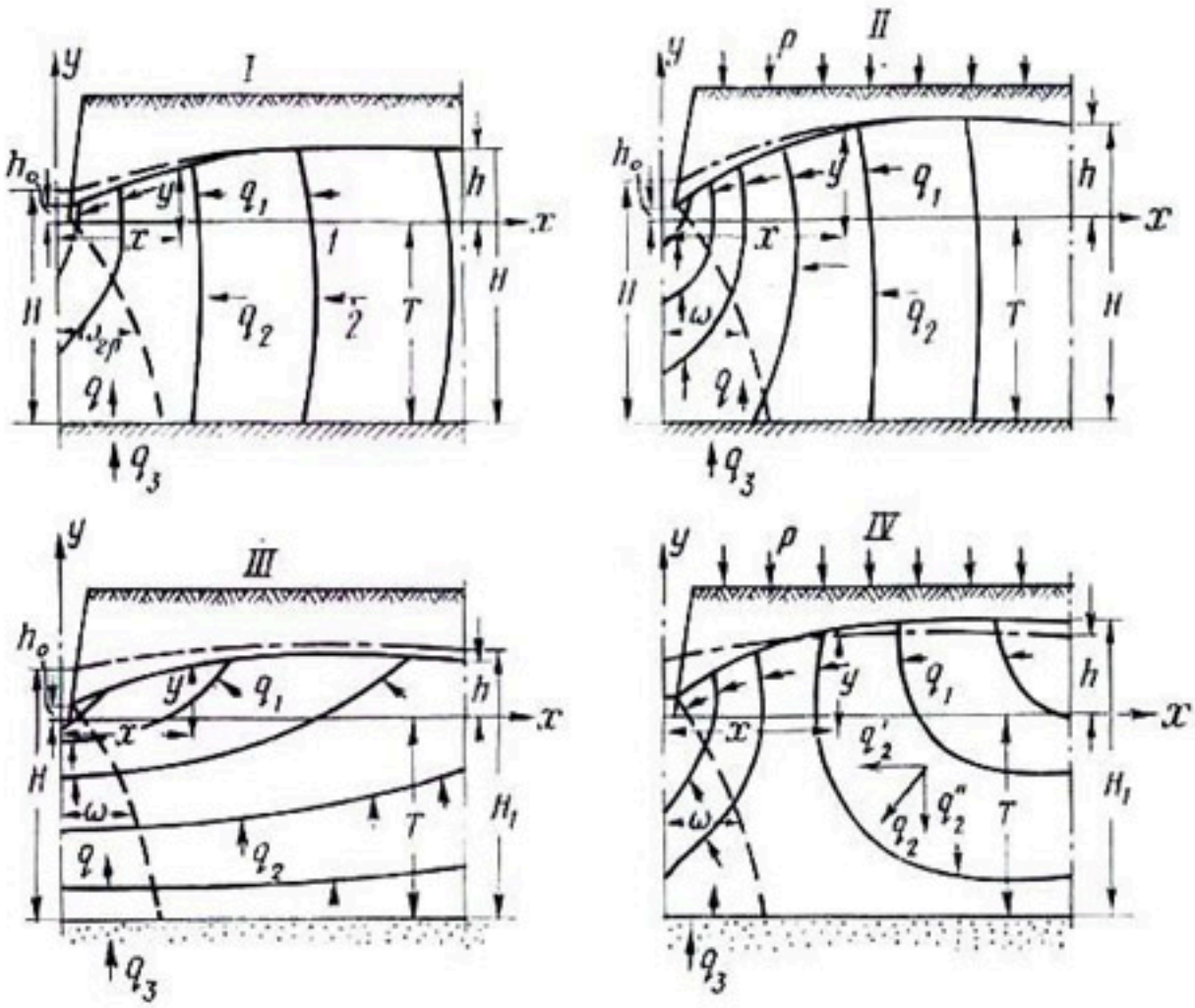


Рис. 9. Основные схемы питания горизонтального дренажа в условиях Чуйской долины:

I — для периферии подзоны слабого выклинивания при отсутствии инфильтрационного питания; *II* — то же, при наличии инфильтрационного питания; *III* — для подзоны интенсивного выклинивания при отсутствии инфильтрационного питания; *IV* — то же, при наличии инфильтрационного питания; *1* — линии равных напоров; *2* — направление движения грунтовых вод.

дренье, а в зоне интенсивного выклинивания грунтовых вод в дрены поступают напорные воды.

Приведенная гидродинамическая картина работы дренажа для условий напорного питания грунтовых вод в Чуйской долине полностью подтверждается данными по другим межгорным впадинам, например по ТаджССР (Вакеман, 1976).

ОСНОВНЫЕ СХЕМЫ ПИТАНИЯ ГОРИЗОНТАЛЬНОГО ДРЕНАЖА И ИХ АНАЛИЗ

Питание горизонтального дренажа в различных гидрогеологических зонах Чуйской долины может быть подразделено на четыре схемы (Дуюнов, 1969). Изображенные на рисунке 9 схемы I и II относятся к пери-

ферии подзоны слабого выклинивания грунтовых вод, схемы III и IV характерны для подзоны интенсивного выклинивания грунтовых вод. Приведенные схемы питания дренажа отражают движение грунтовых вод в слое мощностью 7—8 м, то есть до глубины ниже дна дрен на 4—6 м.

Схема I отвечает работе дренажа при отсутствии инфильтрационного питания, а схема II — при наличии инфильтрационного питания.

Для выявления количества поступающих в дрену напорных и инфильтрационных вод следует рассмотреть движение потока в трех областях:

выше дна дрены — поток грунтовых вод под действием гидравлического уклона движется в горизонтальном направлении к дрене — q_1;

ниже дна дрены — поток движется в горизонтальном направлении под действием такого же гидравлического уклона к дрене — q_2;

под дном дрены — восходящий поток под действием пьезометрического напора движется неширокой полосой по направлению к дрене — $q_в$.

Чтобы проанализировать питание дренажа, введем следующие обозначения:

Q — приток к 1 м дрены с одной стороны;

B — половина расстояния между дренами;

h — напор в середине междренья;

h_0 — наполнение в дрене;

T — мощность активной зоны (при неглубоком залегании водоносного пласта Т можно принимать равной глубине залегания этого пласта);

H — пьезометрический напор на глубине Т под дном дрены;

H_1 — пьезометрический напор в середине междренья;

ω — ширина восходящего потока к дрене на границе активной зоны;

P — интенсивность инфильтрационного питания.

Величина H в схеме I меньше таковой в схеме II, так как при инфильтрационном питании происходит увеличение пьезометрического напора под дном дрены. При этом $H_1 > H$, $T + h \geqslant H_1$ (в рассматриваемых условиях обычно наблюдается небольшая разница между этими величинами). Под мощностью активной зоны понимается такой слой, по которому происходит поступление

воды к дрене и в котором отражается влияние инфильтрационного питания на изменение пьезометрических напоров.

При работе дренажа в условиях единого напорного комплекса подземных вод, как в Чуйской долине, глубина до ближайших напорных водоносных горизонтов может быть значительной (30—40 м).

В приведенных схемах рассматривается мощность T только активной зоны, то есть той, которая в данных условиях не превышает двойной, тройной глубины дрен.

С увеличением T увеличивается число прослоек грунтов различной водопроницаемости, а определять коэффициент фильтрации для каждой прослойки весьма сложно. Поскольку полные данные о коэффициенте фильтрации не всегда есть, будет неизвестной величина гашения пьезометрического напора водоносных пластов, находящихся на больших глубинах (50—250 м и более.

Приток воды к 1 м дрены, с одной стороны, согласно схемам I и II, будет равен:

$$Q = q_{\text{п}} + q_1,$$

где

$$q_{\text{п}} = q_2 + q_3 \cdot$$

Следовательно,

$$Q = q_1 + q_2 + q_3 \cdot$$

Расчет по схеме I. Поступление воды из первой области, то есть q_1, можно определить так же, как для случая работы дрены на водоупоре. Для вычисления q_1 А. Н. Костяков (при отсутствии инфильтрационного питания) рекомендует исходные уравнение:

$$q_1 = \text{к} y \frac{dy}{dx} \cdot$$

Интегрирование уравнения при y, изменяющемся от h_0 до h, а x от 0 до B, дает:

$$q_1 = \frac{\text{к}(h^2 - h_0^2)}{2B} \cdot$$

Поступление воды из второй области будет происходить под тем же гидравлическим уклоном:

$$q_2 = \text{к}\mathrm{T}\frac{dy}{dx} \cdot$$

Интегрирование этого уравнения при указанных выше пределах дает:

$$q_2 = \frac{\text{к}\mathrm{T}(h-h_0)}{B} \cdot$$

Поступление воды из третьей области выразится:

$$q_в = q_2 + q_3 = \text{к}\omega_{ср}\frac{H-\mathrm{T}}{\mathrm{T}},$$

откуда

$$q_3 = q_в - q_2 \cdot$$

Таким образом Q для схемы I определится из следующего уравнения:

$$Q_{\mathrm{I}} = \text{к}\omega_{ср}\frac{H-\mathrm{T}}{\mathrm{T}} + \frac{\text{к}(h^2-h_0^2)}{2B} = \text{к}\left[\omega_{ср} i_{восх} + \frac{h^2-h_0^2}{2B}\right] \cdot \quad (8)$$

Расчет по схеме II. В этом случае инфильтрационная вода интенсивностью P будет, очевидно, попадать и двигаться не только по первой, но и по второй области, тогда

$$P(B-x) = \text{к}y\frac{dy}{dx} + \text{к}\mathrm{T}\frac{dy}{dx} \cdot$$

При интегрировании этого уравнения при указанных выше пределах получим

$$PB = \frac{\text{к}}{B}\left[h^2 - h_0^2 + 2\mathrm{T}(h-h_0)\right]$$

или

$$q_1 = \frac{\text{к}(h^2-h_0^2)}{B} \cdot \quad q_2 = \frac{2\text{к}\mathrm{T}(h-h_0)}{B} \cdot$$

Величины $q_в$ и q_3 выразятся теми же уравнениями, что и в схеме I. Величина Q_{II} для схемы II определится из выражения

$$Q_{\mathrm{II}} = \text{к}\omega_{ср}\frac{H-\mathrm{T}}{\mathrm{T}} + \text{к}\frac{(h^2-h_0^2)}{B} = \text{к}\left[\omega_{ср} i_{восх} + \frac{h^2-h_0^2}{B}\right] \cdot \quad (9)$$

Результаты, полученные по уравнению (9), будут значительно отличаться за счет увеличения h и H.

Расчеты (табл. 28) показывают, что роль первого члена, выражающего поступление воды в дрену снизу за счет восходящего потока, уравнения значительно больше второго.

Таблица 28. **Расчет восходящего потока ω_i и притока воды в дрены со стороны междренья**

ω, м	i	ωi, м	h_c, м	h_0, м	$h'-h_0^2$,	B, м	$\frac{h'-h_c^2}{B}$	$\frac{h'-h_0^2}{2B}$
5	0,02	0,1	1,0	0,1	0,99	135	0,0073	0,0036
5	0,25	1,25	3,5	0,2	12,26	135	0,091	0,045
10	0,02	0,2	1,0	0,1	0,99	235	0,0042	0,0021
10	0,25	2,5	3,5	0,2	12,26	235	0,052	0,026

Увеличение пьезометрических напоров, а следовательно, и гидравлических уклонов отмечается при поступлении в междренье поверхностных вод. Приток воды в дрены за счет инфильтрации поверхностной воды (табл. 28) может увеличиваться в 20—25 раз и более. Однако это не означает, что в дрену начнет поступать в основном инфильтрационная вода, так как при инфильтрации увеличивается поступление и грунтовых вод.

В таблице 29 подсчитано количество поступающей в дрену инфильтрационной воды (q_1+q_2) для II и I схемы.

Таблица 29. **Расчет поступающей воды в дрены** (схемы I и II)

h_c, м	h_0, м	$h-h_0$, м	$h'-h_0^2$	B, м	T, м	$\frac{h^2-h_0^2}{B}$	$\frac{2T(h-h_0)}{B}$	q_1+q_2, II схема	$\frac{h^2-h_0^2}{2B}$	$\frac{T(h-h_0)}{B}$	q_1+q_2, I схема
1,0	0,1	0,9	0,99	135	13	—	—	—	0,0036	0,0870	0,090
1,0	0,1	0,9	0,99	235	13	—	—	—	0,0020	0,049	0,051
3,5	0,2	3,3	12,26	135	13	0,091	0,636	0,727	—	—	—
3,5	0,2	3,3	12,26	235	13	0,052	0,364	0,416	—	—	—

В этих расчетах грунт рассматривается как однородный. При наличии прослоек более водопроницаемого

грунта, очевидно, инфильтрационной воды поступает значительно больше. Анализ материалов исследований по ряду опытных участков в северо-западной части Чуйской долины (Госсу, 1970) позволил установить зависимость между действующим напором в середине междренья и под дном дрены, которая имеет следующий вид:

$$H = 0{,}241h - 0{,}011, \qquad (10)$$

где h — действующий напор в междренье, м; H — действующий напор под дном дрены.

Пользуясь этой зависимостью, можно определить гидравлический уклон восходящего потока под дном дрены:

$$i_{\text{восх}} = \frac{H}{l}; \quad \text{при } l = 3{,}7 \text{ м} \quad i_{\text{восх}} = 0{,}27H, \qquad (11)$$

где l — глубина установки пьезометров.

Как уже указывалось, 80% общего количества воды, притекающей к дренам, поступает снизу. Считая, что вблизи дрены линии равного напора — дуги концентрических окружностей, определяем ω по следующей зависимости:

$$\omega = T \operatorname{tg} \alpha, \qquad (12)$$

где T — мощность активной зоны; α — угол, ограниченный вертикальной линией, проходящей через ось дрены, и линией тока, огибающей зону восходящего потока под дном дрены, величина которого составляет 65—80% общего притока в дрену. Угол равен примерно 60°.

Угол α (рис. 10) определяют по способу Р. Г. Литвака. Расход воды через площадку Δx будет равен

$$Q_{\Delta x} = \frac{к\,\Delta H}{\sqrt{T^2 + x^2}} \cos\alpha\, dx \quad \cos\alpha = \frac{T}{\sqrt{T^2 + x^2}},$$

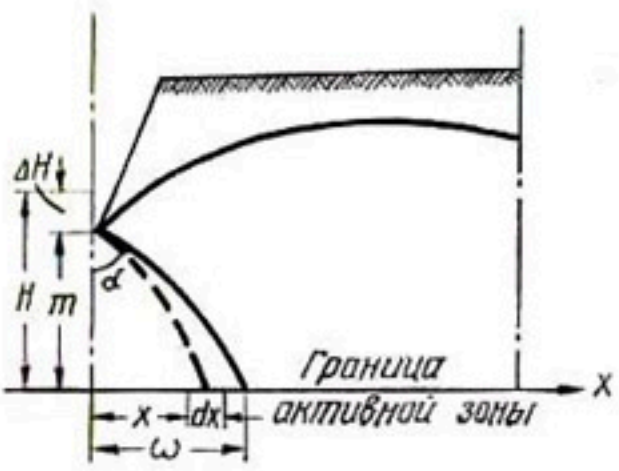


Рис. 10. Схема для установления угла α, определяющего ширину восходящего потока под дном дрены.

тогда

$$Q_{\Delta x} = \frac{к\,\Delta H}{T^2 + x^2} dx,$$

$$Q_{0-\omega} = \int_0^{\omega} \frac{к\,\Delta H}{T^2 + x^2} dx,$$

$$Q_{0-\infty} = \int_0^{\infty} \frac{к\,\Delta H}{T^2 + x^2} dx,$$

$$\beta=\frac{Q_{0-\omega}}{Q_{0-\infty}}=\frac{\int_0^{\omega}\frac{к\Delta H}{T^2+x^2}dx}{\int_0^{\infty}\frac{к\Delta H}{T^2+x^2}dx}=\frac{\operatorname{arctg}\frac{\omega}{T}}{\frac{\pi}{2}},$$

откуда $\omega=T\operatorname{tg}\left(\beta\frac{\pi}{2}\right)$. При $\beta=0{,}95$ (принимается, что на участок шириной ω поступает 95% всего количества воды) $\beta\frac{\pi}{2}\approx57°$ или $\alpha=57°$.

Таким образом, принятый для расчетов угол $\alpha=60°$ близок к действительности. Значения $i_{восх}$ и ω могут быть определены любыми другими способами: теоретическими или на основании полевых исследований на типичных опытных участках.

Схемы III и IV наиболее приемлемы для подзоны интенсивного выклинивания. По схеме III ведут расчет, когда нет инфильтрационного питания, по схеме IV, — когда оно есть. При принятых условных обозначениях и делении потока для схемы III получаем

$$Q_{III}=q_1+q_в,\qquad q_в=q_3,$$

следовательно,

$$Q_{III}=q_1+q_3.$$

Величина $q_в=q_3$ определяется так же, как в схемах I и II. Величина q_1 может быть определена двумя способами:

1) $q_1=кy\frac{dy}{dx}=\frac{к(h^2-h_0^2)}{2B}$,

2) $q_1=q_2-\frac{BИ}{1000}$,

$$q_2=\frac{H_1-(h+T)}{h+T}к(B-\omega_{ср}),$$

где $\omega_{ср}$ — составляет не более 5—10% B; И — испарение грунтовых вод, мм.

Для схемы IV

$$Q_{IV}=q_1+q_в,\quad q_в=q_3+q_2'$$

следовательно,

$$Q_{IV}=q_1+q_3+q_2'.$$

Величина q_1 определяется так же, как в схеме II. Величина $q_в$ — как и во всех предыдущих схемах

$$q_2'' \text{ к}(B-\omega_{ср})\frac{(h+\text{Т})-H}{h+\text{Т}}-\frac{\text{кТ}(h-h_0)}{B}, \qquad (13)$$

$$q_2'=\text{кТ}\frac{dy}{dx}=\frac{\text{кТ}(h-h_0)}{B}. \qquad (14)$$

В связи с тем, что в схемах III и IV имеют место слоистые грунты со слабоводонепроницаемыми прослойками (к=0,05—0,1 м/сут), в соответствующие выражения для определения притока воды в дрены необходимо вводить к соответствующих прослоек или же расчетные значения к. Так, в выражении для определения Q_{III} при вычислении q_1 необходимо взять значение $к_1$ (для верхнего слоя), а при вычислении q_2 взять значение $к_2$ (для прослойки, так как через нее проходит весь поток за счет напорных вод). При определении Q_{IV} в выражения для вычисления q_1 и q'_2 подставляются значения $к_1$, а для вычисления q_2'' и q_3 — значения $к_2$.

В схеме III, зная величину q_1 и испарения (И), можно найти величину q_2, по которой определяют соответственно к или H при известных остальных. При известном значении q_2 можно найти величину испарения грунтовых вод для соответствующих периодов времени. В рассматриваемых условиях для расчета испарения грунтовых вод можно применить известную формулу С. Ф. Аверьянова при $n=1,5$ (Каплинский, 1965).

Приток в дрену для схемы III снизу за счет напорности грунтовых вод в несколько десятков раз больше притока воды к дрене со стороны междренья. Расчеты притока воды в дрену на примере бывшей Киргизской ОМС представлены в таблице 30 на основании гидродинамических сеток.

При инфильтрационном питании (схема IV) приток к дрене со стороны междренья резко по сравнению со схемой III увеличивается, но увеличивается также поступление воды в дрену и снизу за счет увеличения напорности, поэтому в суммарном дебите приток со стороны незначителен по сравнению с притоком снизу. В этих условиях при наличии засоления рассолить почвогрунты путем отвода промывной воды в дрены будет весьма трудно.

Таблица 30. **Расчет притока воды в дрену** (схемы III и IV)

Схема	Дата	Фактический приток к 1 м дрены с одной стороны, л/с / м³/сут	При B=121 м; T=12 м; k_1 = 0,7 м/сут; k_0=0,1 м/сут: ω, м	h_1, м	h_0, м	$t_{восх}$	z_1, м	$z_{кр}$, м	$И_0$, м³/га
III	27/VIII	0,002 / 0,173	4	1,3	0,1	0,52	1,0	3,0	64,4
IV	7/VII	0,0045 / 0,388	7	2,5	0,2	0,7	0,3	—	—

Продолжение

Схема	Дата	Фактический приток к 1 м дрены с одной стороны, л/с / м³/сут	При B=121 м; T=12 м; k_1=0,7 м/сут; k_0=0,1 м/сут: n, м	$И_1$, м³/сут	q_1', м³/сут	q_2, м³/сут	q_2^1, м³/сут	q_3, м³/сут*	Q_1 расч*, м³/сут	Q_2 расч, м³/сут
III	27/VIII	0,002 / 0,173	1,5	0,42	0,00485	0,425	—	0,208	0,213	0,217
IV	7/VII	0,0045 / 0,388	—	—	0,036	—	0,0266	0,35	0,412	—

* $Q_{1\ расч}$ и $Q_{2\ расч}$ для схемы III соответственно для двух способов расчета q_1.

Таким образом, для схем I и II в условиях засоленных почвогрунтов и минерализованных грунтовых вод максимальное количество инфильтрационной воды, поступающей в дренаж за счет подачи поверхностных вод (поливы, промывки и т. п.), составляет 30—35% общего дебита дренажа. Это обусловило недостаточную эффективность применяемых мелиоративных мероприятий при существующих параметрах дренажа.

Для схем III и IV в условиях неминерализованных и слабоминерализованных грунтовых вод поступление инфильтрационных вод со стороны междренья незначительно по сравнению с поступлением напорных грунтовых вод снизу.

Приведенные уравнения для расчета дебита дрен, полученные на основании рассмотрения схем питания дренажа, позволяют дать оценку эффективности гидромелиоративных мероприятий (промывки, поливы и т. п.), а при наличии профиля минерализации грунтовых вод по глубине и засоления почвогрунтов можно дать прогноз изменения минерализации дренажных вод. Назначение правильной схемы мелиоративных мероприятий может быть произведено лишь на основе анализа и учета схем питания дренажа для данных конкретных условий.

Поступление основного количества воды в дрены снизу неширокой полосой в условиях напорного питания грунтовых вод происходит и в других межгорных впадинах. Так; в работе (Ваксман, 1976) отмечается, что более 70% общего напорного притока поступает на узкую околодренную полосу шириной 30—40 м, скорость восходящего движения увеличивается с приближением к дрене в 5—10 раз и более.

О МЕТОДИКЕ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА ФИЛЬТРАЦИИ СЛОИСТЫХ ПОЧВОГРУНТОВ

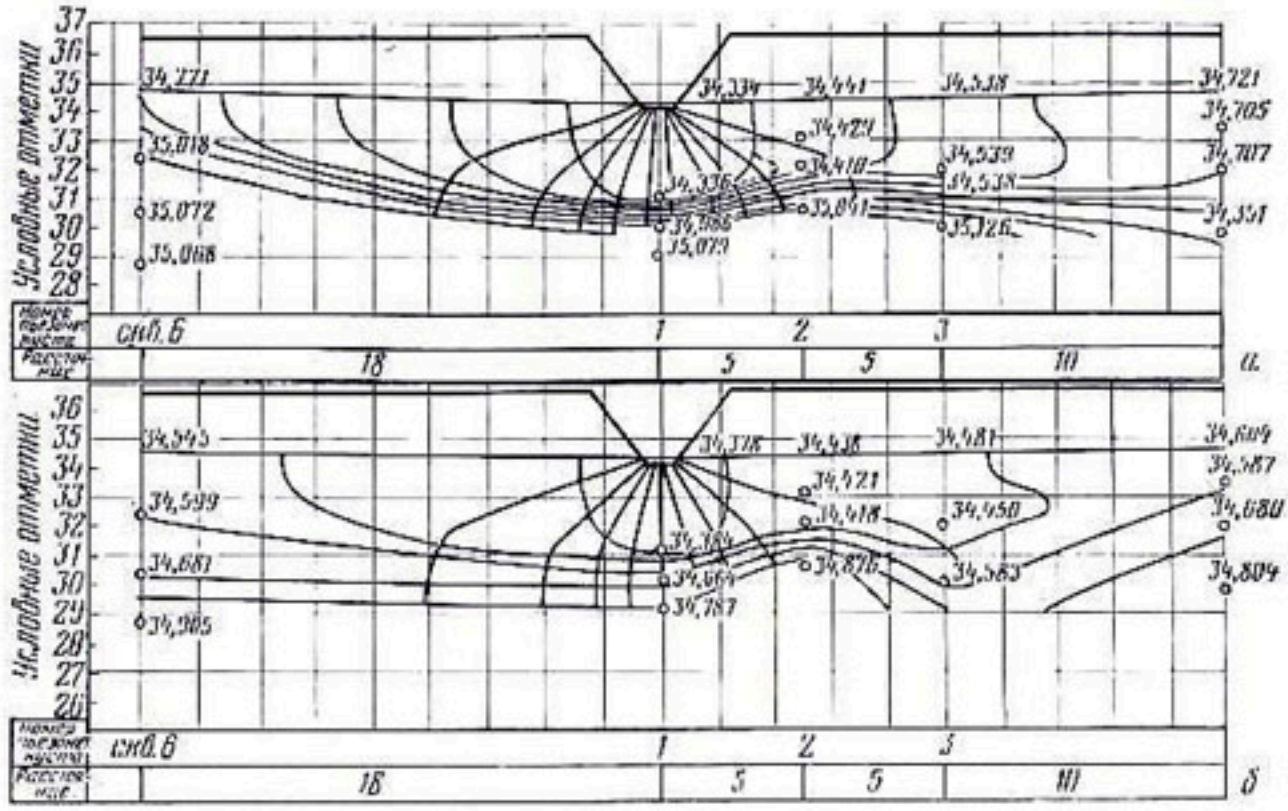
В практике чаще встречаются неоднородные (слоистые) грунты, чем однородные. Коэффициент фильтрации отдельных слоев можно определять различными способами. Один из таких способов — использование гидродинамических сеток — приведен в работе автора (Дуюнов, 1965) для грунтов Каиндинского опытного участка.

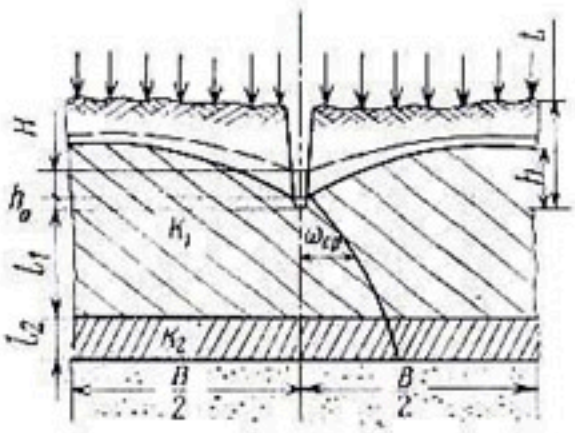
Для расчета построены сетки на 24 мая и 31 августа 1962 г. — даты максимального и минимального залегания уровня грунтовых вод и соответствующие им расходы по дрене (рис. 11). Коэффициент фильтрации определен по формуле Дарси

$$Q = к\omega i, \quad i = \frac{\Delta h}{l}, \tag{15}$$

где Q — приток воды к дрене; к — коэффициент фильтрации; ω — площадь поперечного сечения потока, движущегося к дрене; i — гидравлический уклон; Δh — разность между отметками грунтовых вод или пьезометрическими напорами на пути фильтрации l.

Значение коэффициента фильтрации в трехметровом слое ниже дна дрены значительно больше, чем в прослойке от 3 до 4 м (линии равного напора сгущены, следовательно, на небольшом пути фильтрации сильно падает напор).





в

Рис. 11. Гидродинамические сетки по створу пьезометров и скважин, пересекающему дрену:
а — 24 мая 1962 г.; *б* — 31 августа 1962 г.; *в* — схема для расчета к примерам 1 и 2.

При расчетах к для верхнего трехметрового слоя под дном дрены принято, что через ближайшую к дрене линию равного напора проходит весь поток грунтовых вод, притекающий к дрене (испарение в расчет не принимается ввиду незначительности площади). Расчетами установлено, что значение к этого слоя составляет 4,5—4,9 м/сут.

Для определения коэффициента фильтрации прослойки от 3 до 4 м использованы отдельные ленты сеток, расход по которым рассчитывался по формуле

$$q = \frac{Q}{n}, \qquad (16)$$

где Q — приток к 1 м дрены; q — расход, проходящий через одну ленту; n — число лент.

Значение к для этой прослойки получено равным 0,145—0,165 м/сут. Расчет средних коэффициентов фильтрации по известным формулам показывает:

при движении потока в горизонтальном направлении по формуле

$$K_{ср}=\frac{к_1 l_1+к_2 l_2}{l_1+l_2} \qquad (17)$$

получены значения $K_{ср}=3{,}4—3{,}7$ м/сут;

при движении потока в вертикальном направлении получены значения к в пределах 0,472—0,685 м/сут по формуле

$$K_{ср}=\frac{T}{\frac{l_1}{к_1}+\frac{l_2}{к_2}+\cdots+\frac{l_n}{к_n}}, \qquad (18)$$

где $T=\sum_1^n l_i$ — суммарная длина потока, проходящего через прослойки 1, 2, ..., n, имеющие мощности $l_1, l_2, \ldots, l_n$; $к_1, к_2, \ldots, к_n$ — соответствующие им коэффициенты фильтрации.

Из гидродинамических сеток (см. рис. 11) следует, что 82% потока к дрене идет снизу (9 лент сетки из 11) со средним коэффициентом фильтрации 0,57 м/сут $\left(\frac{0{,}472+0{,}685}{2}\right)$ и 18% потока со стороны междренья (2 ленты из 11) по грунтам со средним коэффициентом фильтрации 3,55 м/сут $\left(\frac{3{,}4+3{,}7}{2}\right)$, тогда расчетный коэффициент фильтрации (средневзвешенный по линиям тока воды к дрене) будет

$$0{,}57\cdot 0{,}82+3{,}55\cdot 0{,}18=1{,}10 \text{ м/сут.}$$

Если оперировать не средними значениями коэффициентов фильтрации и считать, что поток снизу идет через прослойку с коэффициентом фильтрации 0,145—0,165 м/сут, а с боков по грунтам с коэффициентом фильтрации 4,5—4,9 м/сут, тогда на 24 мая расчетный коэффициент фильтрации составит

$$0{,}165\cdot 0{,}82+4{,}50\cdot 0{,}18=0{,}95 \text{ м/сут},$$

на 31 августа

$$0{,}145\cdot 0{,}80+4{,}90\cdot 0{,}20=1{,}09 \text{ м/сут.}$$

Получены довольно близкие значения.

Таким образом, для определения расчетного коэффициента фильтрации слоистых грунтов требуется, кроме знания коэффициентов фильтрации отдельных прослоек (определенных различными способами), еще построить гидродинамические сетки для выяснения структуры потока (доли поступления в горизонтальном и вертикальном направлениях). Это в большинстве случаев затруднительно (требуется установить створы пьезометров и наблюдать за дебитом дрен, затем строить гидродинамические сетки).

Автор получает расчетные коэффициенты фильтрации слоистых грунтов из формул для определения дебита дрен, учитывающих расход отдельных прослоек с различными коэффициентами фильтрации, и формул, выведенных для однородных грунтов, но учитывающих неоднородность почвогрунта введением среднего коэффициента фильтрации грунтов. Так, для схемы IV питания горизонтального дренажа выражение притока воды в дрену с двух сторон в слоистых почвогрунтах будет иметь вид

$$Q=2\left[\kappa_2\omega i_{\text{восх}}+\frac{\kappa_1 2h^2}{B}\right], \qquad (19)$$

где B — междренное расстояние, м; κ_1 и κ_2 — коэффициенты фильтрации грунтов, в которые заложены дрены (κ_1) и слабоводопроницаемой прослойки (κ_2), м/сут; h — напор в середине междренья, м; ω — половина ширины полосы восходящего потока (см. рис. 9) под дном дрены, м; $i_{\text{восх}}$ — гидравлический уклон восходящего потока под дном дрены, равный

$$i_{\text{восх}}=\frac{H-(l+h_0)}{l+h_0}, \qquad (20)$$

где H — пьезометрический напор на глубине l под дном дрены, м; l — мощность активной зоны, м; h_0 — наполнение в дрене, м.

При рассмотрении зависимостей для расчета дренажа показано, что общее выражение взаимосвязи между действующим напором, коэффициентом фильтрации, дренажным модулем и расстоянием между дренами имеет вид (формула 24), откуда при $Q=Bq$

$$Q=\kappa(a_1 h\pm c), \qquad (21)$$

где Q — приток в дрены с двух сторон; κ — средний коэффициент фильтрации почвогрунтов, м/сут; q — дренажный модуль, м³/сут на 1 м².

Приравняв выражения (19) и (21), получим

$$K_{\text{расч}} = \frac{2\left(\kappa_{20} i_{\text{восх}} + \frac{\kappa_1 2h^2}{B}\right)}{\omega h \pm c}. \qquad (22)$$

Для условий западной части гидрогеологической зоны выклинивания и неглубокого залегания грунтовых вод (по данным Каиндинского опытного участка) значение $a=1{,}2$, $c=-0{,}62$ (табл. 34). Ниже на примерах рассмотрена возможность применения предлагаемой методики для определения расчетного коэффициента фильтрации слоистых почвогрунтов.

Пример 1. Требуется определить расчетное значение к при следующих исходных данных (рис. 11, *в*): междренное расстояние $B=518$ м; половина ширины полосы восходящего потока под дном дрены $\omega=7$ м; коэффициенты фильтрации грунтов и прослойки: $к_1=4{,}53$ м/сут, $к_2=0{,}165$ м/сут; напор в середине междренья $h=1{,}5$ м; приток воды к дрене $Q=1{,}18$ м^3/сут.

Гидравлический уклон восходящего потока под дном дрены для верхней трехметровой толщи ниже дна дрены $i_{\text{восх}}=0{,}02$, для слабоводопроницаемой прослойки $i_{\text{восх}}=0{,}59$, от напорного пласта до дна дрены $i_{\text{восх}}=0{,}163$. Гидравлический уклон $i_{\text{восх}}$, подсчитанный по формуле (19),

$$i_{\text{восх}} = \frac{Q - \frac{4\kappa_1 h^2}{B}}{2\kappa_{20}\omega} = \frac{1{,}18 - \frac{4 \cdot 4{,}53 \cdot 1{,}5^2}{518}}{2 \cdot 0{,}165 \cdot 7} = 0{,}48.$$

Расчетное значение к по формуле (22) составляет

$$K_{\text{расч}} = \frac{2\left[0{,}165 \cdot 7 \cdot 0{,}48 + 4{,}53 \frac{2 \cdot 1{,}5^2}{518}\right]}{1{,}2 \cdot 1{,}5 - 0{,}62} = 1 \text{ м/сут}.$$

Таким образом, расчетное значение к, подсчитанное по формуле (22), близко к расчетному значению к, подсчитанному, как средневзвешенное по линиям токов (0,95—1,10). Если принять $i_{\text{восх}}$ таким, какое оно непосредственно на оси под дном дрены, то есть $i_{\text{восх}}=0{,}59$, расчетное значение к составит 1,2 м/мут, что также близко к полученному. Это свидетельствует о том, что без больших погрешностей, зная коэффициенты фильтрации отдельных слоев и подсчитав их среднее значение

по вертикали под дном дрены, можно вести расчеты по среднему значению гидравлического уклона восходящего потока, то есть не устанавливая пьезометров на границах отдельных слоев почвогрунтов. Это следует и из формулы Дарси. Так, при движении потока поперек простирания пластов по ленте одинаковой ширины имеет место равенство

$$к_1 i_1 = к_2 i_2 = \cdots = к_n i_n = к_{ср} i_{ср}, \qquad (23)$$

где $к_n i_n$ — коэффициенты фильтрации и гидравлические уклоны восходящего потока под дном дрен для отдельных слоев; $к_{ср}$ — среднее значение коэффициента фильтрации по вертикали; $i_{ср}$ — среднее значение восходящего потока под дном дрены, подсчитанное как частное от деления действующего напора на путь фильтрации.

Приведенное в выражении (23) равенство скоростей в отдельных слоях справедливо лишь при одинаковой ширине ленты потока. В действительности поток при приближении к дрене сужается, скорость его увеличивается за счет увеличения гидравлического уклона.

Пример 2. Требуется определить расчетное значение к для условий, близких к условиям северо-западной части Чуйской долины с засоленными почвогрунтами и минерализованными грунтовыми водами при следующих исходных данных: расстояние между дренами $B=200$ м; глубина дрен $t=3{,}7$ м; наполнение в дрене $h_0=0{,}2$ м; действующий напор в междренье $h=t-h_0=3{,}5$ м (при промывках); мощность верхнего слоя под дном дрены $l_1=10$ м с коэффициентом фильтрации $к_1=1{,}0$ м/сут; мощность следующего слоя $l_2=1{,}0$ м с коэффициентом фильтрации $к_2=0{,}03$ м/сут.

Действующий напор под дном дрены H_1 примем по зависимости (10), тогда при $h=3{,}5$ м, $H=0{,}8$ м. Половину ширины восходящего потока ω рассчитаем по формуле (12)

$$\omega = l \operatorname{tg}\alpha = 10{,}0 \cdot \operatorname{tg} 60^\circ = 17{,}3 \text{ м}.$$

По формуле (23) определяем:

$$i_{ср} = \frac{0{,}8}{11} = 0{,}0725; \quad к_{ср} = \frac{11}{\frac{1}{0{,}03} + \frac{10}{1{,}0}} = 0{,}254;$$

$$к_1 i_1 = к_{ср} i_{ср} = 0{,}254 \cdot 0{,}0725; \quad i_1 = 0{,}0184;$$

$$к_2 i_2 = к_{ср} i_{ср}; \quad i_2 = 0{,}614.$$

Приток в дрену снизу и со стороны междренья составит:

$$q_{\text{восх}} = 2к_{\text{ср}}\omega i_{\text{ср}} = 2 \cdot 0{,}254 \cdot 17{,}3 \cdot 0{,}0725 = 0{,}638 \text{ м}^3/\text{сут};$$

$$q_{\text{гор.верх}} = \frac{4к_1 h^2}{B} = \frac{4 \cdot 1 \cdot 3{,}5^2}{200} = 0{,}204 \text{ м}^3/\text{сут};$$

$$Q_{\text{общ}} = q_{\text{восх}} + q_{\text{гор}} = 0{,}638 + 0{,}204 = 0{,}842 \text{ м}^3/\text{сут}.$$

Расчетный коэффициент фильтрации определен следующими способами.

1. По контуру предполагаемой линии равного напора, ближайшей к дрене, учитывая, что $^2/_3$ потока поступает в дрену снизу в грунтах со средним коэффициентом фильтрации 0,254 м/сут и $^1/_3$ потока (33%) со стороны междренья по грунтам с к=1,0 м/сут, расчетное значение коэффициента фильтрации составит 0,66·0,254+ +0,33·1,0=0,50 м/сут.

2. По формуле (22) для северо-западной части Чуйской долины

$$к_{\text{расч}} = \frac{2\left[к_2\omega i_{\text{восх}} + к_1 \frac{2h^2}{B}\right]}{0{,}458h - 0{,}051} =$$

$$= \frac{2\left[0{,}03 \cdot 17{,}3 \cdot 0{,}614 + 1{,}0\frac{2{,}0 \cdot 3{,}5^2}{200}\right]}{0{,}458 \cdot 3{,}5 - 0{,}051} = 0{,}54 \text{ м/сут}.$$

Получены довольно близкие результаты. Расчетные коэффициенты фильтрации в различных условиях Чуйской долины могут быть получены из формулы (22) при подстановке в нее соответствующих значений параметров *a* и *c*, взятых из таблицы 31.

Таким образом, рассмотренные основные схемы питания горизонтального дренажа дают возможность получить зависимости, которые позволяют определить расчетные коэффициенты фильтрации слоистых грунтов. На основе этих материалов разработаны рекомендации (Дуюнов, Харитонов, 1976) для определения параметров временного дренажа при коренных промывках засоленных земель (с выносом солей за пределы промываемых массивов).

Автор не гарантирует абсолютной точности реко-

мендуемых зависимостей для определения параметров к расчетным формулам, например ω или H. Важен метод решения, параметры можно определять любым способом, и лучше всего при полевых исследованиях.

ЗАВИСИМОСТИ ДЛЯ РАСЧЕТОВ ДРЕНАЖА

С точки зрения работы горизонтального дренажа гидрогеологические условия Чуйской долины могут быть разделены на следующие расчетные схемы.

I. Однородный грунт при глубоком залегании водоупора $\left(\frac{B}{T}<3\right)$.

II. То же, при неглубоком залегании водоупора $\left(\frac{B}{T}>3\right)$.

III. Однородный грунт, подстилаемый на различных глубинах напорным пластом.

IV. Прослойки с низким коэффициентом фильтрации в сравнительно однородном покровном мелкоземе, подстилаемом напорным водоносным пластом.

Расчеты дренажа, выполненные по формулам различных авторов, показали следующее.

Для установившегося движения грунтовых вод при безнапорном питании дренажа и глубоком залегании водоупора (схема I) расстояния между дренами получены в пределах 370—437 м, при неглубоком залегании поверхности водоупора (схема II) в пределах 340—449 м. При совместном питании дренажа инфильтрационными и напорными водами при неглубоком залегании водоносного пласта междренья составляют 292—450 м.

При неустановившемся движении грунтовых вод для условий безнапорного питания и глубокого залегания водоупора междренные расстояния находятся в пределах 360—440 м, для неглубокого залегания водоупора 280—360 м.

Таким образом, для расчетов дренажа на эксплуатационный период могут быть использованы любые из этих формул для соответствующих гидрогеологических условий. Однако для расчетов по ним требуются достаточно точные исходные данные. Такие данные, как глубина до поверхности напорных водоносных горизонтов или до водоупоров в условиях слоистых грунтов, уста-

новить довольно трудно. Поэтому в ряде случаев может оказаться удобнее и точнее применять формулы, полученные на основе фактических данных о работе дренажа в соответствующих условиях и требующих для расчетов меньше исходных данных.

Полученные формулы учитывают взаимосвязь между основными действующими факторами, — коэффициентом фильтрации, расчетным дренажным модулем, действующим напором в междренье, гидравлическим уклоном восходящего потока, влияющими на установление соотношения глубины дрен и расстояний между ними. Общее выражение взаимосвязи между действующим напором, коэффициентом фильтрации, дренажным модулем и расстоянием между дренами имеет вид

$$B=(a_i h \pm c)\frac{к}{q}\cdot \qquad (24)$$

Значения параметров, входящих в эту зависимость, для условий Чуйской долины приведены в таблице 31. Они получены на основании многолетних исследований автора и других исследователей.

Для условий неустановившегося движения грунтовых вод расстояние между дренами может быть установлено методом А. Н. Костякова. В основу его положен принцип определения расстояний, исходя из нужных темпов понижения грунтовых вод между дренами за требуемое время.

Расчет по этому методу сводится к следующему. Полагают, что в какой-то момент времени уровень грунтовых вод посредине между дренами (напор их) определяется величиной h, за время dt грунтовые воды опускаются на величину dh (под влиянием оттока в дрены и испарения), на что идет объем воды, равный $\varphi\delta B dh$ на единицу длины дрены, где $\delta=\frac{A-C}{100}$ — коэффициент водоотдачи грунта или разница между полной и потенциальной влагоемкостью его; φ—коэффициент, зависящий от формы депрессионной поверхности грунтовых вод и понижения их под дренами и посредине между ними, величина его близка к 1.

При оттоке в дрены, соответствующем напору h, поглощению атмосферных осадков за вычетом испарения BP_0, где $P_0=P$—е, А. Н. Костяков дает уравнение

Таблица 31. **Расчетные зависимости для определения междренных расстояний в условиях Чуйской долины**

Месторасположение опытных участков, фамилия исследователя	Годы наблюдений	Пределы изменения параметров		Расчетные формулы
		к, м/сут	q^*, л/(с·га)	
Восточная часть, ОМС, И. К. Дуюнов	1949—1957	0,7—1,0	$\frac{0,28—0,58}{0,33}$	$B=(1,8h-0,73)\frac{к}{q}$;
Центральная часть, Сретенка, А. С. Эзафович	1956—1959	0,5—0,8	$\frac{0,12—0,33}{0,2}$	$B=(0,715h+0,069)\frac{к}{q}$;
Западная часть, Каинда, И. К. Дуюнов	1958—1965	0,7—1,0	$\frac{0,12—0,32}{0,25}$	$B=(1,2h-0,62)\frac{к}{q}$;
Северо-западная часть, колхоз „Победа", совхоз „Чалдовар", Л. К. Госсу	1963—1969	0,5—1,0	$\frac{0,05—0,30}{0,20}$	$B=(0,458h-0,051)\frac{к}{q}$;

* Значения q в числителе фактические, в знаменателе расчетные.

$$-\varphi\delta B\,dh=(q-BP_0)\,dt. \qquad (25)$$

Этот метод А. Н. Костяков применил для случая расчета дренажа на весенний период, где решающий фактор — атмосферные осадки. В настоящее время установлено, что дренаж следует рассчитывать на среднегодовой модуль инфильтрационного питания. Это относится и к рассматриваемым условиям. В связи с засолением орошаемых земель и необходимостью их промывок в осенний или весенний период к началу вегетационного периода уровень грунтовых вод должен быть опущен на нужную глубину. Поэтому при промывках на фоне существующего дренажа без применения временного требуется проверка времени опускания грунтовых вод. Если расстояние между дренами, рассчитанное по формуле (25), окажется не больше существующего, условие будет соблюдено. В противном случае необходимо изменить сроки и нормы промывки или же устроить временный дренаж дополнительно к постоянному.

Подставляя в уравнение (25) значение $q=$к $(ah\pm c)$ и решая его в пределах от $h=h_1$ при $t=0$ до $h=h_2$ при (Т—t), получим время опускания грунтовых вод Т и расстояния между дренами:

$$T=\frac{\varphi\delta B}{\text{к}a}\ \ln\ \frac{a\text{к}h_1\pm\text{к}c-BP_0}{a\text{к}h_2\pm\text{к}c-BP_0}, \tag{26}$$

$$B=\frac{a\text{к}T}{\varphi\delta\ln\dfrac{a\text{к}h_1\pm\text{к}c-BP_0}{a_\text{к}h_2\pm\text{к}c-BP_0}}. \tag{27}$$

При $P=l$ и $P_0=0$

$$T=\frac{\varphi\delta B}{\text{к}a}\ln\frac{ah_1\pm c}{ah_2\pm c}, \tag{28}$$

$$B=\frac{a\text{к}T}{\varphi\delta\ \ln\dfrac{ah_1\pm c}{ah_2\pm c}}. \tag{29}$$

При $P_0=0$ и $c=0$

$$B=\frac{a\text{к}T}{\varphi\delta\ \ln\dfrac{h_1}{h_2}}. \tag{30}$$

Подставляя в эти выражения исходные данные (табл. 31), получим значения B и Т для соответствующих условий.

Эти расчеты необходимы для северо-западной и центральной части Чуйской долины, где имеются значительные площади засоленных земель на староорошаемых или вновь осваиваемых землях.

Так, при вышеуказанных условиях и $BP_0=0{,}2$ л/(с·га), $a=0{,}458$, $c=-0{,}051$ (для условий северо-западной части Чуйской долины) расстояние между дренами по формуле (27) составило:

$$B=\frac{0{,}458\cdot1\cdot60}{1\cdot0{,}1\ \ln\dfrac{0{,}458\cdot1\cdot3{,}0-1\cdot0{,}051-\dfrac{0{,}2}{116}}{0{,}458\cdot1\cdot1{,}5-1\cdot0{,}051-\dfrac{0{,}2}{116}}}=373\text{ м}.$$

По формуле (30) оно составляет 399 м. Анализ этих формул показывает возможность их применения в рассматриваемых условиях.

При небольших значениях коэффициента c и BP_0 без больших погрешностей можно пользоваться упрощенной формулой (30).

При инфильтрационном питании получено следующее уравнение для расчета дебита дрен:

$$Q=2к\left[\omega i+\frac{2(h^2-h^2_0)}{B}\right];\quad i=\frac{H-l}{l}=\frac{\Delta H}{l}, \tag{31}$$

где H — пьезометрический напор на глубине l под дном дрены.

Принимая $h_0=0$ (в связи с ее незначительностью по сравнению с h), получим уравнение для расчета дебита дрен

$$Q=2к\left[\omega\frac{\Delta H}{l}+\frac{2h^2}{B}\right]. \tag{32}$$

Уравнение баланса будет иметь вид:

$$-\varphi\delta B\,dh=\{2к\left[\omega\frac{a_ih\pm c_i}{l}+\frac{2h^2}{B}\right]-BP_0\}\,dt. \tag{33}$$

Если принять в формуле (33) второй член в квадратных скобках равным нулю, поскольку он во много раз меньше первого, уравнение баланса будет следующим:

$$-\varphi\delta B\,dh=[2к\left(\omega\frac{ah\pm c}{l}\right)-BP_0]\,dt,$$

из которого

$$T=\frac{\varphi\delta Bl}{2к\omega a}\ln\frac{\frac{2к\omega a}{l}h_1\pm\frac{2к\omega c}{l}-BP_0}{\frac{2к\omega a}{l}h_2\pm\frac{2к\omega c}{l}-BP_0}. \tag{34}$$

При $c=0$

$$T=B\Theta\varphi\delta\ln\left(\frac{h_2-\Theta BP_0}{h_1-\Theta BP_0}\right), \tag{35}$$

где $\Theta=\dfrac{l}{2к\omega a}$.

При $c=0$ и $P_0=0$

$$T=B\varphi\delta\Theta\ln\frac{h_1}{h_2}, \tag{36}$$

$$B=\frac{T}{\Theta\varphi\delta\ln\frac{h_1}{h_2}}=\frac{2к\omega aT}{l\varphi\delta\ln\frac{h_1}{h_2}}. \tag{37}$$

При вышеуказанных условиях $a=0{,}241$, $c=0{,}011$, $l=4{,}5$ м (фактическая глубина установки пьезометров)

$$\omega_{ср}=\frac{l\,\mathrm{tg}60\ +0{,}5}{2}=\frac{4{,}5\cdot 1{,}73+0{,}5}{2}=4{,}15\ \text{м}.$$

Расстояние между дренами по формуле (37) составило 385 м. Таким образом, расчеты междрений по полученным зависимостям дают результаты, близкие к результатам, полученным по теоретическим формулам ряда авторов.

РАСЧЕТ ВНУТРИГОДОВОГО КОЛЕБАНИЯ УРОВНЕЙ ГРУНТОВЫХ ВОД И ИЗМЕНЕНИЕ ИХ БАЛАНСА

Вышеуказанные расчеты дренажа выполнены на основании предположения, что нагрузка на дренаж распределена равномерно в течение года. На самом деле внутри года водный баланс изменяется под влиянием климатических условий и орошения. Не остаются постоянными глубина грунтовых вод и дренажный сток.

Для расчета этих колебаний используется приближенный прием, основанный на уравнении баланса грунтовых вод в конечных разностях (Аверьянов, 1970).

$$\frac{\mu}{t}(h_{н}-h_{к})=q'-D\ , \qquad (38)$$

где μ — коэффициент водоотдачи грунтов, или недостаток насыщения, условно принимаемый постоянным и равным $\mu=0{,}1$ (эта величина близка к фактической); $h_{н}$ и $h_{к}$ — соответственно средние по междренью глубины грунтовых вод в начале и конце расчетного периода, в данном случае период составляет 28, 30 и 31 сутки; q' — суммарное питание грунтовых вод, среднее за расчетный период, м/сут; D — модуль стока горизонтального дренажа, средний за расчетный период.

Для приближенных расчетов можно использовать эмпирическую формулу, полученную на основании опытов в северо-западной части Чуйской долины:

$$D=\frac{[0{,}458(l_{д}-h)-0{,}051]к}{B}\ , \qquad (39)$$

где $l_{д}$ — глубина заложения дрен; h — глубина грунтовых вод в середине междренья; к — коэффициент фильтрации почвогрунтов; B — междренное расстояние.

Средняя глубина грунтовых вод за период t определяется по зависимости

$$h^* = \frac{h_н + h_к}{2} \cdot \qquad (40)$$

Кривую депрессии междренья принимаем в виде параболы, выражаемой формулой

$$h^* = t_д - \frac{2}{3}(t_д - h), \qquad (41)$$

откуда

$$t_д - h = \frac{3}{2}(t_д - h^*). \qquad (42)$$

Подставив формулу (42) в формулу (39), получим

$$D = \frac{к}{B}\left[0{,}458 \cdot \frac{3}{2}(t_д - h^*) - 0{,}051\right] \cdot \qquad (43)$$

Суммарное питание грунтовых вод

$$q' = \alpha_2 O_с + O_р + Ф_к - И + P.$$

В уравнение (38) подставим значение D из формулы (43)

$$\frac{\mu}{t}(h_н - h_к) = q' - \frac{к}{B}\left[0{,}458 \cdot \frac{3}{2}(t_д - h^*) - 0{,}051\right] \cdot$$

После некоторых преобразований получим

$$h_к = \frac{1-\alpha}{1+\alpha} h_н + \frac{2\operatorname{tg}\alpha - \frac{qt}{\mu} - 0{,}148\alpha}{1+\alpha} =$$

$$= \frac{(1-\alpha)h_н + 2\operatorname{tg}\alpha - \frac{q't}{\mu} - 0{,}148\alpha}{1+\alpha}, \qquad (44)$$

где $\alpha = \dfrac{0{,}688кt}{2\mu B}$.

По формуле (44), зная $h_н$, можно определить $h_к$ на конец расчетного периода.

Расчет внутригодового колебания уровня грунтовых вод на примере почвенно-мелиоративных районов 4-е, 6-з и режима орошения, отнесенного к VIII гидромодульному району, показывает следующее. Максимальное опускание уровня грунтовых вод происходит в январе — феврале — марте и достигает глубины 3—3,14 м. Наиболее высоко грунтовые воды поднимаются в октябре, в

это время глубина уровня грунтовых вод равна 1,72 м.

Показатель мелиоративного режима орошаемых земель, равный разности между поступлением вод на поле и расходованием последних на испарение на 1 комплексный гектар свекловичного севооборота, показывает, что в сумме за год испарение минерализованных грунтовых вод превышает инфильтрацию. Вынос солей в верхние слои почвогрунтов наблюдается в основном в летние месяцы (VI—VIII), в другие месяцы эти соли будут выноситься инфильтрационными токами. Накопление солей за год может составить при минерализации грунтовых вод 10 г/л около 2,5 т/га. Для предотвращения накопления солей в почве необходимо увеличить норму либо вегетационных, либо профилактических поливов осенью на 500 м³/га. Вынос солей может быть предотвращен также агротехническими приемами.

Показатель мелиоративного состояния определен для случаев, когда поля заняты только сахарной свеклой и люцерной и когда поля заняты только зерновыми. Расчеты показывают, что в первом случае уровень грунтовых вод поднимается до глубины 1,9 м от поверхности земли лишь в октябре, остальные месяцы он находится на глубине 2,5—2,8 м. За год испарение превышает инфильтрацию на 26 м³/га, то есть практически они равны и выноса солей не будет.

Во втором случае уровень поднимается до 1,92 м в сентябре, в остальные месяцы находится на глубине более 2,2—2,5 м. В связи с тем, что оросительная норма в этом случае почти в 2 раза меньше, а испарение уменьшается на 20—30%, будет происходить некоторое накопление солей. При той же минерализации грунтовых вод накопление солей за год составит около 8,2 т/га.

Расчеты показывают, что в рассмотренных случаях увеличивать плотность дренажа нет необходимости, так как грунтовые воды в междуречьях в основном поддерживаются на глубине более 2—2,5 м.

Влияние водохозяйственных мероприятий на расчетный дренажный модуль и междренные расстояния. К числу водохозяйственных мероприятий, существенно влияющих на расчетный дренажный модуль, относятся опреснительный режим орошения и проведение противофильтрационных мероприятий на системе. Изменение междренных расстояний в зависимости от коэффициен-

Таблица 32. **Расчетные значения дренажного модуля и междренных расстояний в зависимости от гидромодульного и почвенно-мелиоративного районирования и к. п. д. системы**

Районы		Глубина заложения дрен, м	Глубина уровня грунтовых вод, м	Дренажный модуль, л/(с·га), при η			Междренные расстояния, м, при η		
почвенно-мелиоративные	гидромодульные			0.50	0.70	0,95	0,50	0,70	0,95
3-в	IX	2,5	1,0	0,219/0,124	0,161/0,066	0,122/0,020	995/945	1220/1770	1610/4350
	VIII	2,5	1,0	0,305/0,211	0,223/0,128	0,167/0,073	645/555	888/915	1175/1600
	IX′	3,0	2,0	0,382/0,287	0,291/0,196	0,231/0,136	280/200	370/295	465/425
	VIII′	3,0	2,0	0,492/0,397	0,370/0,274	0,289/0,194	215/145	290/210	370/300
3-г	IX	3,0	2,0	0,144	0,067	0,285	685	1170	1730
	VIII	3,0	2,0	0,213	0,129	0,745	365	605	1050
	VI	3,0	2,0	0,283	0,179	0,111	275	435	700
	VIII′	3,0	2,0	0,349	0,227	0,146	225	345	535
3-д, 5-ж	VIII	3,5	2,0	0,213	0,129	0,745	300	480	825
4-е, 6-з	VIII′	3,5	2,0	0,349	0,227	0,146	180	280	425
6-з, 7-и, 8-к	VI	3,5	2,0	0,283	0,179	0,111	225	350	560
	IX	3,0	2,0	0,144	0,067	0,0285	350	580	1290
10-м	VI	3,0	2,0	0,283	0,179	0,111	145	220	360

Примечание. При расчетах дренажного модуля значения подземного притока приняты следующими: 9000 и 6000 м³/га для подзоны интенсивного выклинивания и неглубокого залегания грунтовых вод и 4500 м³/га для подзоны слабого выклинивания грунтовых вод. Исследования в Чуйской долине показали, что подземный приток в подзоне интенсивного выклинивания грунтовых вод может доходить до 15 000 м³/га в год, поэтому приняты средние величины.

та полезного действия оросительной системы очень широко (табл. 32). Это обязывает учитывать разнообразные факторы при назначении расчетных значений междренных расстояний и в каждом случае подходить к расчету дренажа дифференцированно (Аверьянов, 1959; Каплинский, 1977).

ГЛУБИНА ЗАЛОЖЕНИЯ ДРЕН

При назначении оптимальной глубины заложения дрен необходимо подобрать такое соотношение глубин дрен и расстояний между дренами, при котором в эксплуатационный период поддерживались бы требуемые уровни грунтовых вод с наименьшими затратами на строительство и эксплуатацию дренажа и на другие водохозяйственные мероприятия. При решении этого вопроса необходимо прежде всего исходить из назначения дренажа — осушительный он или рассолительный (Егоров, 1965; Легостаев, Аргенов, 1965).

В условиях Чуйской долины для осушительного дренажа норма осушения в вегетационный период находится в пределах 0,8—1 м, критическая глубина уровня грунтовых вод на засоленных землях не менее 2 м. В конкретных условиях глубина дрен должна быть больше требуемой глубины уровня грунтовых вод (в частных случаях, например при вакуумном дренаже, глубина заложения дрен может быть равна требуемой глубине уровня грунтовых вод или быть даже меньше нее).

Решение этого вопроса зависит от ряда естественных и искусственных условий. К естественным условиям, влияющим на глубину залегания грунтовых вод, относится, например, возможный приток воды в дрены, зависящий от литологического строения почвогрунтов и их водно-физических свойств, гидрогеологических условий и т. п. От искусственных факторов зависит техническая возможность наиболее эффективной работы дренажа при наименьших затратах на строительство с учетом максимального использования поверхностных и подземных вод. Например, при увеличении глубины дрен, а следовательно, и с увеличением расстояний между дренами возникает ряд затруднений, связанных с дифференцированными поливами между дренами, так как вблизи дрен необходимо давать больше поливов из-за пересушки почв и с дополнительным количеством оросительной воды.

К другим факторам, влияющим на выбор соотношения глубин дрен и расстояний между дренами, можно отнести следующие:

возможность обеспечения дешевыми и надежными дренажными трубами или другими материалами, пригодными для устройства закрытого дренажа;

наличие фильтрующих материалов (естественных или искусственных) для обсыпки дренажных труб, либо возможность строительства дренажа без обсыпки;

возможность механизации строительства дренажа.

Для условий Чуйской долины установлено, что с увеличением глубины дренажа увеличивается соотношение расстояния между дренами и глубины дрен и одновременно уменьшаются затраты на строительство дренажа на единицу площади.

Учитывая вышеизложенное для осушительного дренажа, рекомендуются глубины дрен не более 2,5 м, для рассолительного — 3—3,5 м.

О выборе оптимальной системы горизонтального дренажа. Под оптимальной системой горизонтального дренажа понимается наивыгоднейший вариант дренажа с точки зрения соотношений глубины дрен и расстояний между ними, схем расположения в плане отдельных элементов систем — длины дрен и коллекторов разных порядков и конструкций самих дрен и коллекторов.

Методика определения оптимальной системы горизонтального дренажа основана на установлении минимума приведенных затрат при рассмотрении различных вариантов с учетом поддержания требуемого водно-солевого режима (Методические рекомендации, 1976).

КОМБИНИРОВАННЫЙ И ПРЕРЫВИСТЫЙ ДРЕНАЖ, ИХ ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ

Комбинированный дренаж. Под комбинированным дренажем понимается горизонтальный дренаж, усиленный вертикальными скважинами, расположенными по линии дренажа. В Чуйской долине исследования по выявлению эффективности колодцев-усилителей (вертикальные скважины) были проведены в 1954—1956 гг. Киргизским научно-исследовательским институтом земледелия (КНИИЗ). Такие колодцы были устроены по дну и в откосах дрен диаметром 0,15 м, глубиной 2 и 3 м от дна дрены с расстояниями между ними 5 м по длине

дрены. Максимальный расход одного колодца при глубине заложения его 3 м от дна дрен составил 0,0845 л/с, минимальный — 0,00094 л/с. Средние расходы колебались в пределах от 0,005 до 0,02 л/с.

В последнее время исследования по комбинированному дренажу проводились в Туркменской ССР и Азербайджанской ССР. Для расчета расходов колодцев-усилителей может быть использована формула С. Ф. Аверьянова (Аверьянов, 1948). Для определения расстояния между дренами предложены зависимости, полученные рядом авторов на основе теоретических и производственных исследований. Зависимости, рекомендуемые А. Я. Олейником (Олейник и др., 1970), наиболее полно учитывают факторы, действующие на эффективность работы колодцев-усилителей. Расчеты, выполненные по формулам А. Я. Олейника и В. С. Седова, для случая, когда на глубине 5 м ниже дна дрен залегает трехметровый водоносный горизонт с коэффициентом фильтрации 5 м/сут, покрытый мелкоземом с коэффициентом фильтрации 1 м/сут (такие условия в Чуйской долине), показали разницу в пределах 12% (296 и 264 м соответственно), что свидетельствует о практическом применении расчетных зависимостей.

Довольно простые зависимости для расчета комбинированного дренажа рекомендованы В. М. Шестаковым. Для выяснения экономической эффективности применения комбинированного дренажа необходимо для конкретных условий установить затраты на строительство дренажа без колодцев-усилителей и с ними для соответствующих междрений.

Число колодцев-усилителей на 1 га площади в зависимости от расстояния между колодцами и расстояниями между дренами может быть выражено

$$n = \frac{10^4}{\sigma B}, \qquad (45)$$

Капитальные затраты на устройство колодцев-усилителей определяются

$$K_к = \frac{10^4 \cdot З_к}{\sigma B}, \qquad (46)$$

где $K_к$ — затраты на устройство колодцев-усилителей, руб/га; $З_к$ — затраты на устройство 1 колодца, руб.; B — расстояние между дренами, м; σ — расстояние между колодцами, м.

Капитальные затраты для систем горизонтального дренажа могут быть установлены по уравнению, полученному на основе смет, составленных проектным институтом «Киргизгипроводхоз»

$$K = \frac{\gamma \cdot 10^4 t(1+\xi)}{B}, \qquad (47)$$

где γ — коэффициент, равный для дренажа из керамических труб 5,8; для открытого дренажа — 1,73; ξ — коэффициент, учитывающий прочие затраты, внеобъектные и неучтенные, для рассматриваемых условий он равен 0,308; B — расстояние между дренами, м; t — глубина дрен, м.

Общее выражение для установления затрат (руб/га) на строительство комбинированного дренажа с учетом затрат на строительство обычного дренажа по уравнению (47) имеет вид

$$K_{к.д} = 10^4 \left(\frac{\gamma t\, \sigma_i (1+\xi) + З_к}{\sigma_i B_i} \right). \qquad (48)$$

Возможность применения комбинированного дренажа может быть установлена с экономической точки зрения, если будет соблюдено неравенство

$$\frac{\gamma t\, \sigma_i (1+\xi) + З_к}{\sigma_i B_i} < \frac{\gamma t (1+\xi)}{B}, \qquad (49)$$

где B_i — расстояние между дренами при расстоянии между колодцами σ_i, м; B — расстояние между дренами без колодцев-усилителей.

Анализ материалов исследований и гидрогеологических условий показывает, что комбинированный дренаж в Чуйской долине, особенно в зоне выклинивания грунтовых вод, будет эффективным.

Прерывистый дренаж. Под прерывистым дренажем понимается такой закрытый дренаж, при котором чередуются рабочие и нерабочие участки. Анализ структуры формул, рекомендуемых А. Я. Олейником (1970) для расчета прерывистого дренажа, показывает, что на расчетные величины междрений влияют проводимость водоносной толщи, инфильтрационное питание и сопротивление движению потока.

Известно, что на проводимость влияют мощность водоносного слоя и фильтрационная способность почвогрунтов этой толщи. Поэтому с увеличением размеров водоносной толщи при прочих равных условиях будет увеличиваться расчетное значение междрений.

Расчеты сплошного и прерывистого дренажа для случаев однослойного грунта мощностью 10 м ниже дна дрен с коэффициентом фильтрации к=1 м/сут и двухслойного грунта, когда ниже дна дрен залегает двухметровый слой с к=1 м/сут, подстилаемый восьмиметровым слоем с к = 5 м/сут, свидетельствуют об увеличении междрений с увеличением мощности водоносной толщи и ее проводимости (в первом случае междренья 200—230 м, во втором 358—424 м). При этом для прерывистого дренажа междренные расстояния получены на 13—15% меньше, чем для сплошного.

С точки зрения экономики эффективность прерывистого дренажа может быть в общем случае установлена при соблюдении следующего неравенства*.

$$K_{\text{п}} < K_{\text{с}}, \text{ где } K_{\text{п}} = \frac{\gamma_i t_i 10^4 (1+\xi)}{B_i},$$

$$K_{\text{с}} = \frac{\gamma 10^4 t (1+\xi)}{B}.$$

откуда

$$\frac{B_i}{B} > \frac{\gamma_i t_i}{\gamma t}, \qquad (50)$$

где $K_{\text{п}}$, $K_{\text{с}}$ — капитальные затраты на устройство прерывистого и сплошного дренажа, руб/га; γ, γ_i — коэффициенты, учитывающие различие в конструкциях (с учетом материалов труб и фильтров) сплошного и прерывистого дренажа); B, B_i — междренные расстояния при сплошном и прерывистом дренажах с различными конструкциями, м; t, t_i — глубины дрен при сплошном и прерывистом дренаже, м.

---

* Предполагается, что эксплуатационные расходы для сплошного и прерывистого дренажа будут одинаковыми. Уменьшение эксплуатационных расходов для прерывистого дренажа идет в запас расчетов

4. ДВОЙНОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ ГРУНТОВЫХ ВОД

НЕОБХОДИМОСТЬ РЕГУЛИРОВАНИЯ

В Чуйской долине на площади 50—70 тыс. га в сазовой зоне наблюдается высокое стояние уровня грунтовых вод. Минерализация грунтовых вод этой зоны слабая, карбонатно-кальциевого типа. Плотный остаток не превышает 2 г/л. Минерализация напорных вод невысокая — 0,2—0,3 г/л плотного остатка, увеличивается в направлении общего уклона и уменьшается с глубиной.

Режим грунтовых вод формируется в основном под воздействием поверхностного и подземного притока и оттока, испарения и транспирации. Используя эти факторы в нужном направлении, можно регулировать водный режим почвогрунтов. В задачу мелиорации входит не только снижение уровня грунтовых вод, но и сохранение плодородия, каким обладают лугово-болотные почвы.

Исследования, проведенные автором на Каиндинском опытном участке ВНИИКАмелиорации, показали, что при глубине грунтовых вод 0,8 м влажность почвы составляет (в отношении к объему) 34—36%, или 75—80% полной влагоемкости, то есть поддерживается влажность, обеспечивающая нормальное произрастание растений. Весной уровень грунтовых вод на мелиорированном участке в междренье держится на глубине 0,8—1 м, а вблизи дрен залегает значительно глубже. Водный режим сельскохозяйственных культур обусловливает их урожай. Раздельный учет урожая на полях, расположенных на разном расстоянии от дрен при соблюдении единого режима орошения, показал следующие результаты (табл. 33).

Для получения равномерного урожая на всем дренируемом поле необходима дифференцированная подача воды на орошение по полосам в зависимости от глуби-

Таблица 33. **Урожай сельскохозяйственных культур в зависимости от глубины грунтовых вод**

Сельскохозяйственная культура	Год наблюдений	Площадь, % ко всему участку	Глубина грунтовых вод, м	Урожайность, ц/га
	У дрены (t=2,25 м)			
Хлопчатник	1954	25	1,7	16,1
Кукуруза	1958	25	1,6	40,9
	Посредине между дренами			
Хлопчатник	1954	75	0,7—0,8	19,5
Кукуруза	1958	75	0,6—0,7	47,1

ны залегания грунтовых вод между дренами, что трудно осуществить на практике. В ранневесенний период в зоне выклинивания грунтовых вод в Чуйской долине отмечается высокое стояние грунтовых вод, что мешает своевременному проведению предпосевных и посевных работ. В это время требуется интенсивный отвод грунтовых вод дренажем. В вегетационный период при интенсивном испарении и транспирации и незначительных осадках уровень грунтовых вод начинает опускаться. С этого времени дренаж становится излишним, так как иссушает почву.

Подпитывание корнеобитаемого слоя почвы на орошаемых землях позволяет уменьшить оросительные нормы и за счет этого оросить дополнительные площади, создать равномерный водный режим и сохранить комковатую структуру почв. Как известно, в Прибалтийских республиках, в Украинской ССР, Белорусской ССР для подпитывания верхних горизонтов почвогрунтов на осушаемых землях в вегетационный период используется дренажная сеть с применением кротовых дрен (Янголь, 1967).

В условиях Чуйской долины с напорными грунтовыми водами использовать последние для подпитывания верхнего горизонта почвогрунтов можно иным путем. Подъем грунтовых вод должен происходить не благодаря растеканию воды из древны в горизонтальном направлении, а за счет их напорности в вертикальном направлении.

Для использования грунтовых вод на орошение пу-

тем регулирования дренажного стока необходимо выяснить: размеры подземного притока и других составляющих баланса в исследуемой зоне; оптимальную глубину грунтовых вод, при которой получаются наивысшие урожаи сельскохозяйственных культур; установившуюся или равновесную глубину грунтовых вод, когда приток подземных вод равен сумме испарения и выклинивания в дрежнах; потребность сельскохозяйственных культур в воде (грунтовой и оросительной); техническую возможность регулирования грунтовых вод; изменение засоления почвогрунтов; экономическую эффективность регулирования уровня грунтовых вод.

ПОДЗЕМНЫЙ ПРИТОК И ДРУГИЕ СОСТАВЛЯЮЩИЕ ВОДНОГО БАЛАНСА

Подземный приток в зону интенсивного выклинивания (Каплинский, 1962) составляет 5—15 тыс. м³/га в год. Расчетами установлено (Каплинский, 1965), что около половины поступления подземных вод образуется

Таблица 34. **Подземный приток для различных опытных участков в сравнении с другими характеристиками**

Наименование участка	Глубина грунтовых вод, м	Коэффициент фильтрации почвогрунтов, м/сут	Глубина дрен, м	Расстояние между дренами, м	Подземный приток, тыс. м³/га
Колхоз им. Калинина	1,0—1,8	0,82	1,6—2,0	290	7,5—8,0
Опытно-мелиоративная станция КНИИЗ	0,8—1,2	0,7—1,0	2,0—2,25	200—250	14,0—16,0
Система р. Карабалты	1,7—2,0	—	2,5—4,0	500—1000	4,2
Система р. Джарлы Каинды (Каиндинский)	1,0—1,5	1,0—2,0	2—3	1200	2,5—3,5
	1,5—2,0	1,0—2,0	2,5	500—700	5,7—6,2
Колхоз им. Ярославского	1,0—1,5	1,3—2,0	2,0—2,5	270	2,0—4,0
Совхоз „Чалдовар"	1,0—1,5	0,7—0,8	2,3—3,0	400—450	2,0—4,0
	1,0—2,0	0,5—1,0	3,0	270	3,0—5,0
Колхоз „Победа"	2,0—2,5	0,5—1,0	3,5	400—450	4,0—7,0

Таблица 35. **Элементы водного баланса для отдельных участков**

Участок	Годы наблюдений	Уровень грунтовых вод, м	Приход	
			осадки	приток поверхностных вод
Колхоз им. Калинина	1954	1,34—1,62	0,773/12,4	1,87/30,2
	1955	1,15—1,36	0,282/4,5	3,10/50,0
	1956	0,89—1,36	0,695/10,0	4,39/63,4
Опытно-мелиоративная станция	1953	1,09—1,19	0,756/10,5	1,87/4,26
	1954	1,22—1,32	0,904/13,3	0,80/11,7
	1955	1,16—1,30	0,427/5,7	2,316/30,8
	1956	1,05—1,14	0,313/4,0	3,11/40,2
	1957	0,99—1,26	0,575/7,90	2,10/28,7
Каиндинский	1958	0,53—0,89	0,975/22,3	2,70/61,8
	1959	0,97—1,23	0,526/10,5	1,98/43,8
	1960	0,48—1,21	0,340/17,4	1,58/80,2
	1961	1,07—1,46	0,449/15,0	0,527/17,6
	1962	1,17—1,63	0,648/17,1	1,09/28,7
	1963	1,40—1,73	0,580/12,7	0,578/12,7

* В 1969 г. (до мая) на участке проводили откачки подземных вод из трех
** Построена дрена.

за счет фильтрационных потерь оросительной воды в предгорной зоне. Поэтому количество грунтовых вод, которые возможно использовать в зоне выклинивания, будет зависеть от мероприятий, связанных с развитием и реконструкцией орошения в предгорной зоне. Следует также отметить, что подземный приток не может быть больше притока воды с предгорного шлейфа, но в зависимости от соотношения других элементов водного баланса в зоне выклинивания грунтовых вод может изменяться в значительных пределах.

Подземный приток (табл. 34) на различных опытных участках колеблется от 2 до 16 тыс. м³/га в год. В таблице 35 приведены элементы водного баланса для отдельных участков за летние периоды. Так, для участка в колхозе им. Калинина подземный приток в разные годы находится в пределах 1,85—3,56 тыс. м³/га, причем меньшая цифра получена при глубине грунтовых вод 0,89—1,36 м, бóльшая — при глубине 1,34—1,62 м.

Аналогичная картина и по другим участкам.

Анализ факторов, влияющих на подземный приток, показал следующее:

сазовой зоны Чуйской долины за летние периоды (VI—VIII), тыс. м³/га

%

Приход	Расход			
подземный приток	испарение	дренажный сток	поверхностный сток	подземный отток
3,56/57,4	4,36/67,5	2,10/32,5	—	—
2,83/45,5	4,41/70,0	1,90/30,0	—	—
1,85/26,6	4,69/70,0	2,02/30,0	—	—
4,56/63,5	3,98/51,2	3,80/48,8	—	—
5,09/75,0	4,07/53,8	3,49/46,2	—	—
4,78/63,5	4,35/55,9	3,43/44,1	—	—
4,32/55,8	4,14/51,4	3,92/48,6	—	—
4,63/63,4	4,09/52,9	3,65/47,1	—	—
0,69/15,9	4,43/89,7	0,14/2,8	—	0,371/7,5
2,03*/44,7	4,84/97,0	0,144/3,0	—	—
0,049/2,4	3,94/90,0	0,171/3,8	0,041/0,90	0,24/5,3**
2,02/67,4	3,14/83,2	0,635/16,8	—	—
2,06/54,20	4,19/84,2	0,797/15,8	—	—
3,409/74,6	4,656/87,8	0,651/12,2	—	—

опытных скважин, заложенных на глубину 26 м.

при прочих равных условиях в различных частях подзоны интенсивного выклинивания грунтовых вод подземный приток тем больше, чем ближе грунтовые воды к поверхности земли;

при понижении уровня грунтовых вод, например за счет строительства дренажа, увеличивается гидравлический уклон восходящего потока и резко увеличивается поступление подземных вод;

подземный приток при прочих равных условиях увеличивается при более частом и глубоком дренаже.

Динамика подземного притока согласуется с сезонной динамикой уровня грунтовых вод.

ОПТИМАЛЬНАЯ ГЛУБИНА ГРУНТОВЫХ ВОД

Под оптимальной глубиной грунтовых вод понимается такая глубина в различные фазы развития сельскохозяйственных культур, при которой создаются условия для получения наибольшего урожая при наименьших затратах оросительной воды и труда.

Анализ литературных данных (Костяков, 1960; Аверьянов, 1959; Маслов, 1963; Кожанов, 1964; Янголь,

1967; Лютин, 1964; Легостаев, 1967; Кац, 1963, и др.) показывает, что оптимальная глубина грунтовых вод, при которой получены наивысшие урожаи большинства сельскохозяйственных культур, составляет от 0,8—1,0 до 1,2—1,5 м.

Возможность получения высоких урожаев при близком залегании грунтовых вод подтверждается практикой колхозов в условиях Чуйской долины. Исследованиями А. П. Чернецова установлено, что при глубине грунтовых вод 0,8—1 м получен урожай сахарной свеклы 572 ц/га, на Республиканской опытной станции по кормовым культурам —560 ц/га, в колхозе им. Панфилова Калининского района — 587,7 ц/га.

По данным лизиметрических исследований, на Каиндинском опытном участке (табл. 36) максимальный урожай получен при глубине грунтовых вод 0,7 м.

Таблица 36. **Средние данные по урожайности и сахаристости сахарной свеклы за период 1960—1963 гг.**

Показатели	Лизиметры			Поле
Глубина грунтовых вод, м	0,4	0,7	1,5	0,8—1,5
Урожайность, ц/га	472	637	548	395
Сахаристость, %	15,28	15,8	16,5	14,98

Исследования 1971 г. на Каиндинском опытном участке (Суюмбаев, Налойченко, 1975) показали, что при глубине уровня грунтовых вод 0,6—1,1 м на площади 3,4 га (подъем грунтовых вод произошел за счет перекрытия дрены) при одном вегетационном поливе нормой 800 м³/га получен урожай сахарной свеклы 536 ц/га, на прилегающих площадях с глубиной грунтовых вод более указанных при оросительной норме 2600 м³/га урожай составил 322 ц/га. В 1972 г. при одном поливе нормой 1017 м³/га получен урожай сахарной свеклы 609 ц/га, кукурузы на силос —507 ц/га. На контрольном поле при поливе по бороздам с выносными гибкими шлангами оросительная норма за четыре полива составила 4416 м³/га, а с учетом полива перед копкой (712 м³/га) —5128 м³/га. Урожай сахарной свек-

лы при такой оросительной норме составил 312 ц/га. Таким образом, оптимальная глубина уровня грунтовых вод, с точки зрения получения максимальных урожаев, 0,8—1 м.

УСТАНОВИВШАЯСЯ ГЛУБИНА ГРУНТОВЫХ ВОД

Под установившейся (равновесной) глубиной грунтовых вод подразумевается такая глубина, при которой приток подземных вод в слой почвогрунтов, расположенных выше этой глубины, уравновешивается испарением (и дренажным оттоком, если дренаж работает). Как известно, испарение и подземный приток не постоянны во времени, поэтому равновесная глубина грунтовых вод также не постоянна.

Испарение в различные периоды года зависит от вида сельскохозяйственных культур. Так, наибольшее испарение с посевов ячменя происходит в мае, с сахарной свеклы и кукурузы — в июле.

Наибольшее испарение грунтовых вод получено при глубине их залегания 0,7 м (Суюмбаев, 1970). В начальные периоды развития сельскохозяйственных культур расход грунтовой воды на транспирацию преобладает над испарением из почвы. Это объясняется угнетающим влиянием на растения близких грунтовых вод. С начала июня испарение грунтовых вод при глубине 0,7 м

Таблица 37. **Испарение грунтовых вод за летние месяцы по Каиндинскому опытному участку** (по Д. А. Суюмбаеву)

Показатели	Месяц			
	VI	VII		VIII
		сахарная свекла	кукуруза	
Среднемесячная температура, °С	20,8	23,9	23,9	22,6
Модуль испарения, м³/(га·сут·град)	1,92	2,42	3,90	2,28
Испарение, м³/(га·сут)	40	58	93	51,6
Испарение, м³/(га·мес)	1200	1800	2880	1600

становится больше, чем при меньших глубинах, и меняется в соответствии с дефицитом влаги до начала августа. Далее происходит спад интенсивности испарения, связанный в основном со старением растений.

Испарение грунтовых вод за летние месяцы меняется от 1200 до 2880 м³/га (табл. 37).

В связи с тем, что подземный приток не постоянен и зависит от положения уровня грунтовых вод, при расчетах установившейся глубины необходимо принимать не фактический подземный приток в данный период, а возможный приток, необходимый для поддержания заданного уровня грунтовых вод. Возможный приток можно определить по формуле Дарси. Для этого необходимо иметь данные по гидравлическим уклонам восходящего потока и коэффициентам фильтрации к в вертикальном направлении. В слоистых грунтах необходимо знать к для прослойки с самой низкой фильтрационной способностью, ниже которой были установлены пьезометры для определения гидравлического уклона восходящего потока.

По исследованиям, проведенным на Каиндинском опытном участке, гидравлический уклон восходящего потока по ряду скважин в летний период до строительства дрены составлял 0,005—0,035. Как показано в работе М. И. Каплинского (Каплинский, 1965), в среднем за вегетационный период для Каиндинского участка гидравлический уклон равен 0,012. В то же время установлено (по пьезометрическим данным и водобалансовым расчетам) существование восходящего потока на глубоких напорных горизонтов порядка 0,10—0,15 л/(с·га).

После строительства дрены (Дуюнов, 1965) произошло резкое снижение уровня грунтовых вод и пьезометрических напоров не только на глубине 8 м (в водоносных напорных прослойках), но и в водоносном горизонте, залегающем на глубине от 8 до 20—24 м от поверхности земли (рис. 12—14). Вблизи дрен это снижение составило 1,2—1,7 м, в удалении (262 м) —0,34—0,7 м, причем резкое снижение отмечено в радиусе 60—70 м.

В связи со снижением уровня грунтовых вод и несмотря на уменьшение пьезометрических напоров, произошло резкое увеличение гидравлических уклонов. Так, если по ближайшим к дрене кустам пьезометров гидравлический уклон восходящего потока не превы-

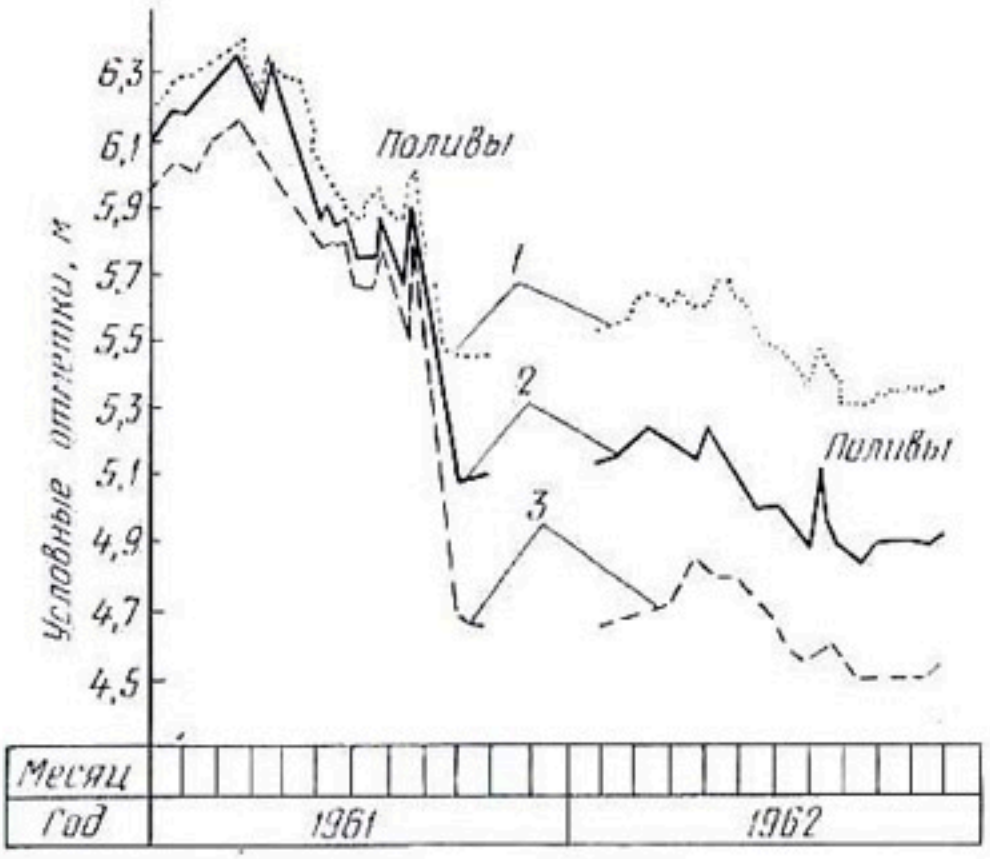


Рис. 12. Динамика уровней грунтовых вод и пьезометрических напоров до и после строительства дрены по кусту 6 (18 м от дрены):

1 — пьезометрический напор в водоносном горизонте, залегающем на глубине 12—24 м от поверхности земли; *2* — пьезометрический напор на глубине 8 м от поверхности земли; *3* — уровень грунтовых вод.

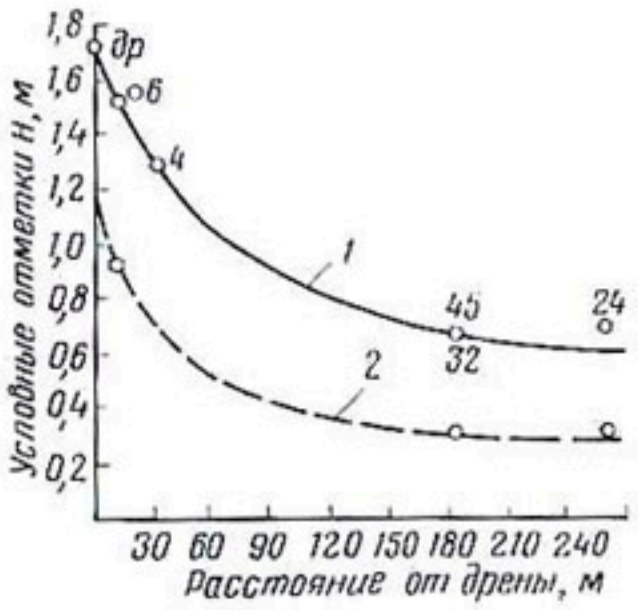


Рис. 13. Кривые снижения уровня грунтовых вод после строительства дрены, считая от первоначального уровня:

1 — между максимальными значениями; *2* — между минимальными значениями уровня грунтовых вод.

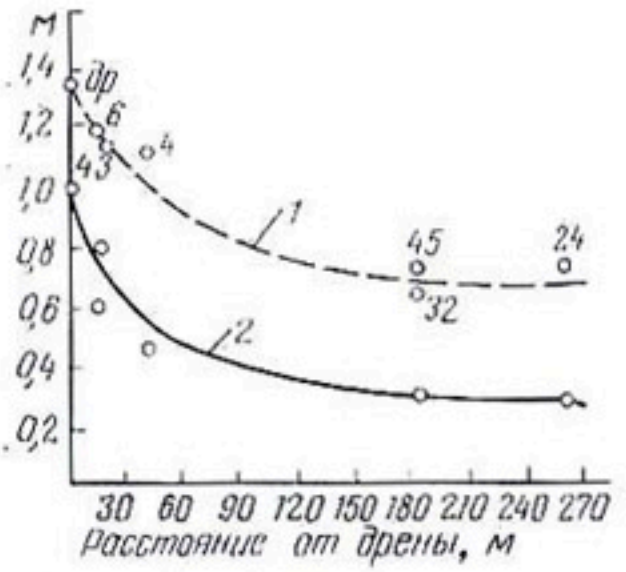


Рис. 14. Кривые снижения пьезометрического напора на глубине 8 м от поверхности земли после строительства дрены:

1 — между максимальными значениями; *2* — между минимальными значениями пьезометрических напоров.

шал 0,03—0,04, то после строительства дрены он увеличился до 0,08—0,09, то есть в два раза и более, а под дном дрен достиг 0,16.

Снижение пьезометрических напоров на достаточно больших глубинах произошло в результате разгрузки напорного горизонта за счет отвода воды дренажем. Если напорные воды не отводить, они будут расходоваться на испарение.

При глубине грунтовых вод 0,8 м максимальное суточное испарение в летний период может быть около 100 м³/га. Тогда максимальный гидравлический уклон восходящего потока составит:

$$i = \frac{q}{к\omega} = \frac{100}{0{,}15 \cdot 10\,000} = 0{,}066.$$

Коэффициент фильтрации относительно водоупорной прослойки составляет 0,15 м/сут (получен путем расчета по гидродинамической сетке с использованием фактического дебита дрен). При вышеуказанных гидравлических уклонах восходящего потока подземный приток составит: при $i_{восх.min} = 0{,}005$; $q = к\omega i = 0{,}015 \cdot 10\,000 \cdot 0{,}005 = 7{,}5$ м³/га в сутки, или 285 м³/га в месяц; при $i_{восх.max} = 0{,}035$; $q = 52{,}5$ м³/га в сутки, или 1575 м³/га в месяц; при $i_{восх.сред} = 0{,}012$; $q = 18$ м³/га в сутки, или 540 м³/га в месяц, что составляет 0,208 л/(с·га). Эти расчеты выполнены для средних условий за летний период при восходящих и нисходящих токах грунтовых вод.

Трудность установления равновесной глубины грунтовых вод заключается в том, что сам процесс испарения грунтовых вод и поступления последних в слой почвогрунта с испарившейся водой — непрерывный. Поэтому одновременно с малейшим понижением уровня грунтовой воды за счет испарения происходит поступление напорных грунтовых вод снизу. Интенсивность поступления подземной воды зависит от интенсивности испарения. Если интенсивность подпитывания будет равна интенсивности испарения, глубина уровня грунтовой воды будет постоянной. Если же последняя будет меньше интенсивности испарения, будет происходить понижение уровня грунтовых вод, а в связи с этим и понижение интенсивности испарения грунтовых вод. Этот процесс будет длиться до тех пор, пока не установится равновесие, так как с понижением уровня будет

увеличиваться гидравлический уклон восходящего потока за счет увеличения разности между уровнем грунтовых вод и пьезометрическим напором и уменьшением пути фильтрации.

Для условий Каиндинского опытного участка проведены расчеты испарения по данным Д. А. Суюмбаева и подземного притока по формуле Дарси, учитывая, что напорные воды могут поступать из напорного горизонта, расположенного ниже относительно водоупорного горизонта, залегающего на глубине 5—6 м от поверхности земли.

Расчеты подземного притока проведены при различных коэффициентах фильтрации относительно водоупорной прослойки. Данные расчетов нанесены на график (рис. 15), где места пересечения линий коэффициентов фильтрации с соответствующими кривыми испарения означают равновесные глубины грунтовых вод. При коэффициенте фильтрации 0,15 м/сут и среднемесячной интенсивности испарения, полученной из опытных данных, равновесие между притоком подземных вод и испарением будет при следующих глубинах грунтовых вод: в июне — 0,92 м, в июле на поле сахарной свеклы — 0,96 м, на поле кукурузы — 1,06 м, в августе — 0,96 м.

Пользуясь предложенной методикой установления равновесной глубины, можно в различных условиях при подстановке соответствующих значений исходных данных или уравнений для их определения получить равновесные глубины грунтовых вод. Так, М. И. Кап-

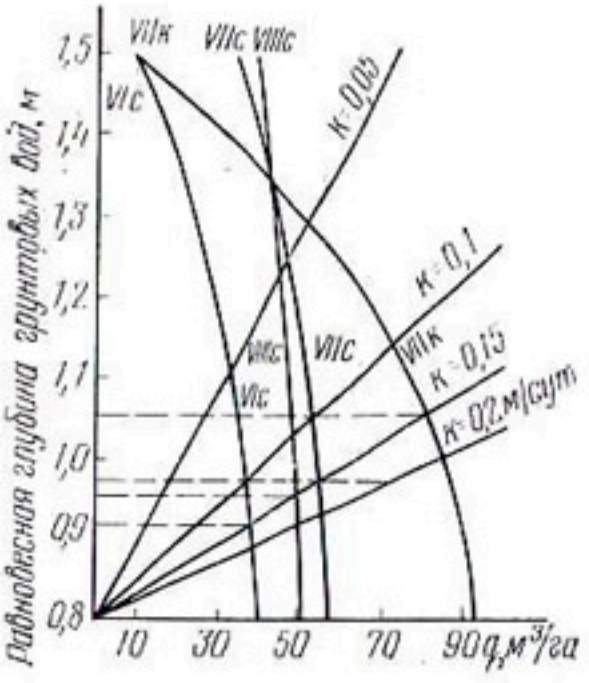


Рис. 15. Зависимость равновесной глубины грунтовых вод (h) от испарения и подземного притока, зависящего от коэффициента фильтрации почвогрунтов:

римская цифра означает месяц, индексы: *с* — испарение с поля сахарной свеклы; *к* — испарение с поля кукурузы.

линский (Каплинский, 1970) эту глубину получил из формулы С. Ф. Аверьянова для определения испарения грунтовых вод, приравняв ее к формуле Дарси (испарение уравновешивается подземным притоком).

ПОТРЕБНОСТЬ В ВОДЕ ПРИ ДВОЙНОМ РЕГУЛИРОВАНИИ ГРУНТОВЫХ ВОД

Расчет потребности в оросительной воде на территории бывшей ОМС (табл. 38) при глубине грунтовых вод 0,8 м показал, что нехватка воды ощущается лишь в июле и августе в объеме 141 м³/га. В этот период возможно потребуется один полив. В аналогичных условиях оросительная норма сахарной свеклы составляет 1700—2600 м³/га и подается она за 3—4 полива. Следовательно, используя грунтовые воды для подпитывания почвогрунтов, можно сэкономить некоторое количество оросительной воды и уменьшить затраты труда при орошении.

Рассмотренные данные относятся к восточной части сазовой зоны Чуйской долины с большим подземным притоком. Исследования 1970—1973 гг. в западной части сазовой зоны Чуйской долины, где подземный приток составляет 30—50% притока в восточной части, показали, что высокий уровень грунтовых вод (0,7—0,8 м) можно поддерживать, подавая в дренаж дополнительное количество оросительной воды. Такое орошение имеет положительные и отрицательные стороны. Этот метод требует специальных исследований, которые проводятся в настоящее время на Каиндинском опытном участке ВНИИКАмелиорации.

Общее количество расходуемой воды (оросительной и грунтовой) можно установить следующим образом.

По средним данным лизиметрических исследований на Каиндинском опытном участке за период 1960—1963 гг. для сахарной свеклы испарение грунтовых вод за июнь — август при их глубине 0,7 м составило 4987 м³/га, при глубине 1,5 м —2277 м³/га.

В общем водопотреблении сахарной свеклы на долю грунтовых вод при их глубине 0,7 м приходится 65—70%, при глубине 1,5 м —40—45%. Следовательно, суммарное испарение за указанный период при глубине грунтовых вод 0,7 м составляет 7500 м³/га, при глубине 1,5 м —5000—5500 м³/га. Оросительная норма для

Таблица 38. **Потребность в оросительной воде по территории бывшей опытно-мелиоративной станции КНИИЗ*** (средние данные за период 1953—1957 гг.), м³/га

Расчетный период	Глубина уровня грунтовых вод, м	Осадки	Подземный приток	Испарение				Недостаток воды	Избыток воды
				с водной поверхности	с поверхности почвы при высоком стоянии грунтовых вод	с грунтовых вод	суммарное		
1/IV—1/V	0,8	625	1300	560	728	534	1159	—	766
1/V—1/VI	0,8	575	1525	1120	1458	1069	1644	—	456
1/VI—1/VII	0,8	375	1525	1425	1855	1362	1737	—	163
1/VII—1/VIII	0,8	195	1525	1737	2259	1659	1854	134	—
1/VIII—1/IX	0,8	185	1625	1712	2225	1632	1817	7	—
1/IX—1/X	0,8	165	1340	1280	1664	1220	1385	—	120

* Киргизский научно-исследовательский институт земледелия.

сахарной свеклы в этих условиях при глубине грунтовых вод 1—2 м рекомендуется 2800 м³/га, при глубине грунтовых вод 0,7 м она не превышает 600—900 м³/га. Разница между суммарным испарением и оросительной нормой при глубине грунтовых вод 0,7 м составляет 6600—6900 м³/га, при глубине 1,5 м — 2200—2700 м³/га.

Таким образом, в условиях западной части Чуйской долины регулированием грунтовых вод (поднимая их в летний период) для подпитывания сельскохозяйственных культур достигается экономия оросительной воды порядка 1600—2000 м³/га, хотя общий расход воды (грунтовой и оросительной) при близком залегании грунтовых вод будет на 2000—2500 м³/га больше.

ТЕХНИЧЕСКИЕ ВОЗМОЖНОСТИ РЕГУЛИРОВАНИЯ УРОВНЯ ГРУНТОВЫХ ВОД

В Чуйской долине специальные опыты по регулированию уровня грунтовых вод были проведены на территории бывшей ОМС КНИИЗ (Эзафович, Дуюнов, 1961) в 1956—1958 гг. Опыты были проведены в следующих условиях: почвогрунты — легкие и средние суглинки с коэффициентом фильтрации 0,7—1 м/сут; грунтовые воды — слабоминерализованные, содержат солей до 1 г/л;

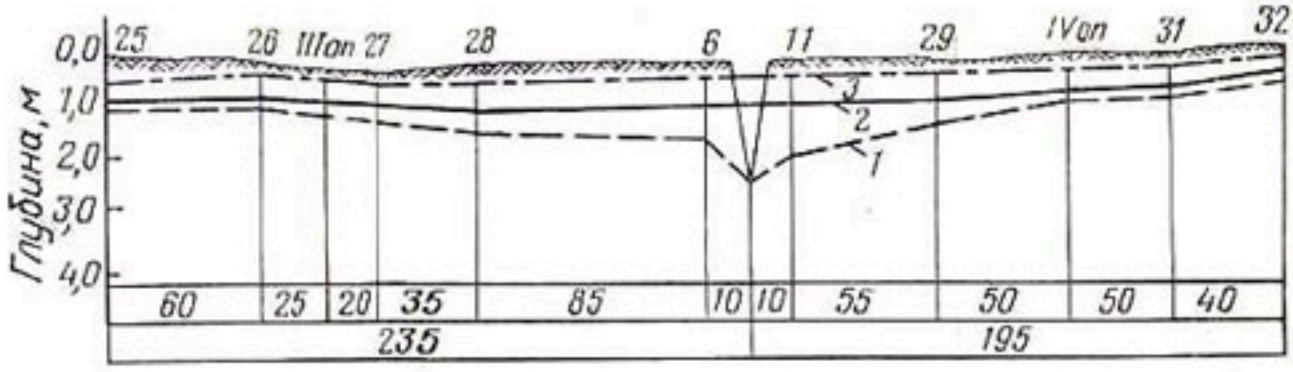


Рис. 16. Уровень грунтовых вод по створу наблюдательных скважин перпендикулярно дрене:

1 — на 11/II 1966 г. (до строительства дрены); *2* — на 2/III (на 7-й день после ликвидации дрены); *3* — на 25/III (на 25-й день после ликвидации дрены).

приток грунтовых вод со стороны — от 10 до 16 тыс. м³/га в год.

Дренажная сеть глубиной 2,25 м и протяженностью 50 м/га обеспечила стабильное залегание грунтовых вод на глубине 0,8—1,2 м. Опыт проводился на дрене глубиной 2,25 м с уклоном 0,01, перемычки на дрене были заложены через 100, 75 и 50 м. Грунтовые воды вблизи дрен поднимались весьма интенсивно, и на 10—20-й день уровни их в основном выравнивались по всему радиусу действия дрен (рис. 16). В междренье уровень грунтовых вод установился в основном на глубине 0,6—1 м.

При глубине грунтовых вод 0,6—0,8 м поддерживается такая влажность, при которой не требуется дополнительных поливов (табл. 39).

Таблица 39. **Влажность почвогрунтов** (в слое 0—60 см) **при глубине залегания грунтовых вод 0,65—1,25 м**

Глубина грунтовых вод, м	Средняя влажность почвы, %	Средняя плотность почвы, г/см³	Влажность почвы, % к объему	Предельная полевая влагоемкость, %		Влажность в % от предельной полевой влагоемкости
				к массе грунта	к объему грунта	
0,65	28	1,29	36,0	28,6	36,9	97,5
0,75	28	1,38	38,6	28,6	39,7	97,2
1,0	24	1,33	31,9	28,6	38,1	83,7
1,25	17	1,38	23,3	28,6	39,2	59,5

Специальных исследований по перекрытию дренажной сети в летний период (без подпитывания последней дополнительным количеством поверхностной воды) в

западной части сазовой зоны Чуйской долины проведено не было.

Для характеристики технической возможности регулирования грунтовых вод были использованы данные полевых исследований на Каиндинском опытном участке, выполненных в 1965—1966 гг. до и после ликвидации горизонтальной дрены. Эти данные позволяют в некоторой степени осветить: динамику площадного залегания грунтовых вод; изменение глубины грунтовых вод по двум створам наблюдательных скважин; динамику грунтовых вод за зимне-весенний период 1966 г. по отдельным скважинам, расположенным на различном расстоянии от дрены; динамику изменения напорности грунтовых вод за вышеуказанный период 1966 г. и соответствующий ему период 1965 г. при нормальной работе дрены.

Анализ этих материалов, а также наблюдений за динамикой грунтовых вод до и после строительства дрены в 1961 г. позволяет дать прогноз динамики грунтовых вод (скорость подъема и спада) при регулировании дренажного стока в летний период. Дрена на Каиндинском участке была ликвидирована 23—24 февраля 1966 г. В связи с резким подъемом уровня грунтовых вод 18 марта было начато строительство новой дрены на месте старой (вскрытие ее) и закончено 13 апреля.

В результате замеров уровней грунтовых вод по сетке скважин, расположенных по квадратам (200×200 м) на площади 64 га, составлены карты глубин залегания грунтовых вод (рис. 17) участка до ликвидации дрены (на 11 февраля), на 7-й день (2 марта) и на 25-й день после ликвидации (20 марта).

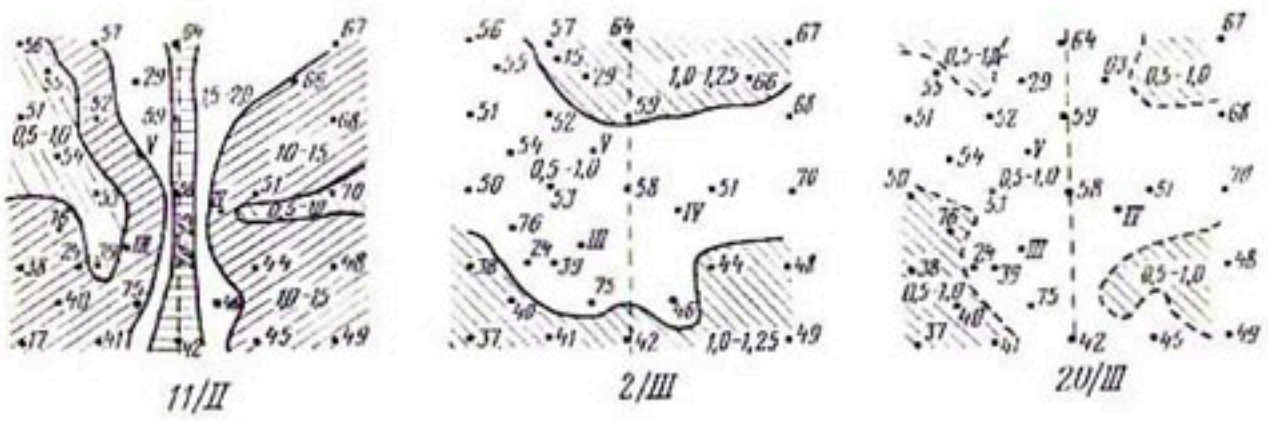


Рис. 17. Глубина грунтовых вод на 11/II, 2/III и 20/III 1966 г. по Каиндинскому участку.

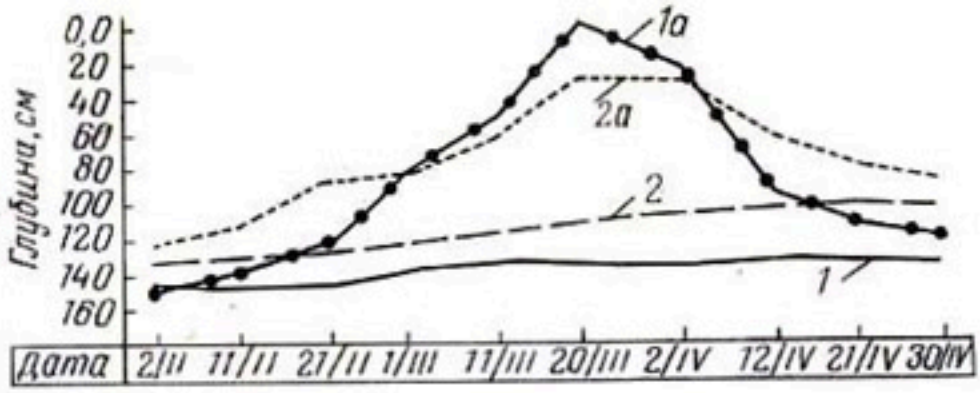


Рис. 18. Динамика уровней грунтовых вод по скважинам № 10 и 16 в 50 и 200 м от оси дрен:

1 — по скважине № 10 за 1965 г.; *1а* — то же, за 1966 г.; *2* — по скважине № 16 за 1965 г.; *2а* — то же, за 1966 г.

До закрытия дрены (табл. 40) на основной площади глубина уровня грунтовых вод была 1—1,5 м и 1,5—2 м, на 7-й день после ее засыпки на основной площади глубина грунтовых вод была 0,5—1 м, на 25-й день 0—0,5 м.

Подъем уровня грунтовых вод наиболее интенсивно шел вблизи дрен, к 20 марта он закончился вблизи или у поверхности земли.

Сравнение динамики грунтовых вод (рис. 18) по скважинам № 10 и 16 за указанный период после закрытия дрены (1966 г.) и при нормальной работе дрены (1965 г.) показало, что в 1965 г. за этот период шел постепенный подъем грунтовых вод, не превышающий 0,2—0,3 м, в 1966 г. произошел резкий подъем уровня. Подъем грунтовых вод шел менее интенсивно, чем спад

Таблица 40. **Распределение площадей по глубине залегания грунтовых вод, га**

Год, дата	Глубина грунтовых вод, м						Средневзвешенная глубина уровня грунтовых вод
	0—0,5	0,5—1	1—1,5	1,5—2	2—2,5	итого, га	
1966 г.							
11/II	—	9,0	31,0	19,0	5,0	64,0	1,40
2/III	—	42,0	22,0	—	—	64,0	0,92
20/III	48	16,0	—	—	—	64,0	0,37

до глубины, которая существовала во время работы дренажа. Период спада до исходной глубины примерно был равен периоду подъема. Он продолжался около одного месяца.

Скорость подъема средневзвешенной глубины грунтовых вод за первые 7 дней составила 7 см/сут, за последующие 18 дней — 3 см/сут, за весь период подъема — около 4 см/сут.

Динамика изменения напорности грунтовых вод на глубине 7—8 м от поверхности земли (рис. 19) показывает, что по скважине № 6, расположенной в 18 м от дрены, в 1965 г. напорность грунтовых вод составила 0,4—0,5 м ($i = 0{,}05$—$0{,}07$), в 1966 г. во время ликвидации дрены — 0,0—0,1.

После восстановления дрены за счет снижения уровня грунтовых вод произошло резкое увеличение напорности до исходного уровня, имевшего место в 1965 г. при нормальной работе дрены.

Динамика уровня грунтовых вод и пьезометрического напора на глубине 8 м от поверхности земли по кусту пьезометров у скважины № 6 (см. рис. 19) показывает, что после закрытия дрены произошел не только подъем грунтовых вод, но и увеличение пьезометрического напора, причем в связи с тем, что высота подъема уровня грунтовых вод больше высоты подъема пьезометрического напора, гидравлический уклон восходящего потока уменьшился. Эти данные полностью подтверждают выводы о динамике уровней грунтовых вод и пьезометрических напоров до и после строительства дрены

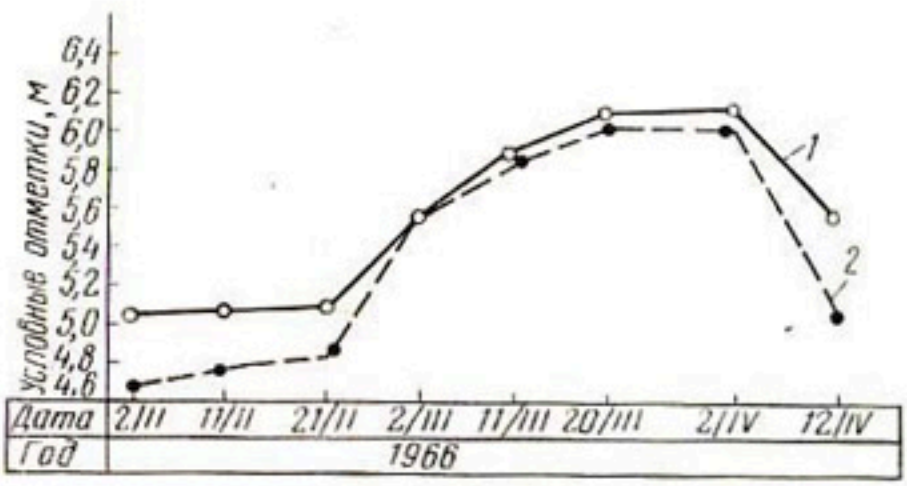


Рис. 19. Динамика уровня грунтовых вод и пьезометрического напора по кусту № 6 Каиндинского участка:

1 — пьезометрический напор на глубине 8 м; *2* — уровень грунтовых вод.

на Каиндинском опытном участке. Поэтому они могут быть использованы при регулировании уровня грунтовых вод посредством регулирования дренажного стока.

В результате ликвидации дрены в феврале — марте 1966 г. на участке произошел резкий подъем грунтовых вод, средневзвешенный по площади уровень которых установился на глубине 0,37 м при начальной глубине 1,40 м (то есть поднялся на 1,03 м по отношению к исходному).

Это имело место в зимне-весенний период, а в связи с незначительным количеством осадков в летний период и наличием испарения и транспирации при перекрытии дренажной сети регулирующими сооружениями такого близкого к поверхности подъема грунтовых вод не произойдет.

Поскольку максимума подъем уровня грунтовых вод достиг только через месяц после закрытия дрены, то при регулировании уровня грунтовых вод необходимо начинать перекрытие дрен за месяц раньше срока начала полива, то есть в рассматриваемых условиях при необходимости поливов в июне — августе перекрытие дрен перегораживающими сооружениями необходимо произвести в начале мая и поддерживать дрены в таком состоянии до конца августа — начала сентября.

ИЗМЕНЕНИЕ ЗАСОЛЕНИЯ ПОЧВОГРУНТОВ

Исследования на Каиндинском опытном участке (Суюмбаев, Налойченко, 1975) показали, что при исходной минерализации грунтовых вод 0,3—0,5 г/л и засолении почв 0,2—0,3% сезонное регулирование уровня грунтовых вод не вызвало заметных изменений засоления почвогрунтов.

Коэффициент сезонной аккумуляции солей (САС) в метровом слое по токсичным солям меньше единицы. Он изменяется вниз по профилю с 0,66 до 0,44. Сумма токсичных солей находится в пределах 0,050—0,031%.

Общая щелочность в ионах HCO_3 в пределах нормы — 0,053%.

Расчет выноса солей для средних условий Чуйской долины (табл. 41) с использованием среднемноголетних данных по испаряемости, испарению грунтовых вод

при возможных равновесных глубинах грунтовых вод и средней минерализации их 0,4 г/л показал, что возможное накопление солей составляет 1,9 т/га, которые при инфильтрации зимне-весенних осадков будут вымываться в нижние горизонты и частично выноситься в дренаж.

Таблица 41. **Расчет выноса солей в почвогрунты при двойном регулировании грунтовых вод**

Месяц	Уровень грунтовых вод, м	Испаряемость, м³/га	Испарение с грунтовых вод, м³/га	Суммарное испарение, м³/га	Осадки, м³/га	Оросительная вода, м³/га	Вынос солей при минерализации грунтовых вод 0,4 г/л, т/га
Январь	1,1	200	83,5	150	222	—	—
Февраль	1,0	210	97,5	150	250	—	—
Март	0,9	407	209,0	300	490	—	—
Апрель	0,8	837	469	600	640	—	0,188
Май	0,8	1 310	734	1000	595	—	0,294
Июнь	0,9	1 690	864	1200	372	350	0,346
Июль	0,95	2 160	1055	1800	177	350	0,422
Август	1,0	1 990	925	1600	117	350	0,370
Сентябрь	1,5	1 440	368	800	147	—	0,147
Октябрь	1,5	860	220	400	357	—	0,088
Ноябрь	1,3	360	120	200	372	—	0,048
Декабрь	1,2	210	78,5	150	257	—	—
Итого		11 674	5223	8550	3996	1050	1,903

ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ РЕГУЛИРОВАНИЯ УРОВНЯ ГРУНТОВЫХ ВОД

Для регулирования уровня грунтовых вод требуется устройство перегораживающих сооружений на дренажной сети, число которых на единицу площади зависит от уклона дрены, перепада уровней воды до и после перегораживающего сооружения, междренных расстояний.

Таблица 42. **Показатели экономической эффективности реконструкции дренажной сети и регулирования дренажного стока**

Показатели	Коэффициент	Годы освоения									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
		Сельскохозяйственная культура									
		травы	травы	озимые	сахарная свекла	кукуруза	озимые	сахарная свекла	озимые	сахарная свекла	яровые
Первый вариант											
Урожайность, ц/га	1,0	45	45	30	445	300	30	445	30	445	20
Себестоимость, руб/га	—	52,5	52,5	67,8	635	105	67,8	625	67,8	635	43,2
Стоимость, руб/га	—	51,7	51,7	255	1200	150	255	1200	255	1200	170
Доход, руб/га	—	—	—	187,2	565	45	187,2	565	187,2	565	126,8
Убытки, руб/га	—	0,8	0,8	—	—	—	—	—	—	—	—
Второй вариант											
Урожайность, ц/га	1,2	54	54	36	534	360	36	534	36	534	24
Себестоимость, руб/га	—	50,5	50,5	65,1	609	101	651	609	65,1	609	41,5
Стоимость, руб/га	—	62	62	306	1440	120	306	1440	306	1440	204
Доход, руб/га	—	11,5	11,5	240,9	831	79	240,9	231	240,9	831	152,5

Расчеты показывают, что при заложении дрен по наибольшему уклону, составляющему в сазовой зоне 0,01—0,008, междреньях 250 м и перепаде уровней 0,5 м перегораживающее сооружение приходится на 1,5—2,5 га, при уклоне дрены 0,002 (расположение в поперечном направлении по отношению к уклону поверхности земли) — одно сооружение на 6 га и более.

Чтобы осуществить регулирование дренажного стока, необходимо реконструировать коллекторно-дренажную сеть, поэтому при экономических расчетах рассмотрены два варианта:

1. Реконструкция существующей дренажной сети без регулирования дренажного стока;

2. Реконструкция коллекторно-дренажной сети с устройством перегораживающих сооружений для регулирования дренажного стока.

Во втором варианте экономические расчеты выполнены для двух подвариантов с различными капитальными затратами.

Таблица 43. **Сводные показатели экономической эффективности реконструкции дренажной сети и регулирования дренажного стока**

Показатели	Вариант		
	первый	второй	
		а	б
Себестоимость, руб/га	283,5	226,6	226,6
Стоимость, руб/га	574,6	574,6	574,6
Чистый доход, руб/га	291,1	348,0	348,0
Коэффициент экономической эффективности капитальных затрат	0,202	0,216	0,265
Окупаемость, лет	4,95	4,64	3,8
Затраты, руб/га	1440	1614,9	1312
$C_i+Ек_i$	427,5	388,1	357,8
$Э=\frac{Ц}{C_i+Ек_i}$	1,35	1,48	1,60

Экономическая эффективность капитальных вложений определена по инструкциям* и рекомендациям, приведенным в работе Б. Г. Коваленко**.

Расчеты (табл. 42, 43) показали, что по всем показателям лучшим вариантом является второй (регулирование уровня грунтовых вод), причем показатели более высокие для случая расположения дренажа по наименьшему уклону (следует отметить, что в первом варианте общая стоимость продукции в среднем за 10 лет получена на 20% меньше стоимости продукции во втором варианте, поэтому в первом варианте увеличено количество продукции по стоимости за счет дополнительных площадей, а отсюда увеличена и себестоимость, и капитальные затраты также на 20%).

Это не исключает анализа перспектив применения регулирования дренажного стока с точки зрения решения общего вопроса использования поверхностных и подземных вод. Так, если приняты меры для уменьшения потерь воды в предгорной зоне, а также за счет строительства вертикальных скважин на воду, уровень грунтовых вод может понизиться настолько, что дренаж не потребуется.

В настоящее время в связи с недостатками существующей дренажной сети она реконструируется, то есть заменяется такой сетью, которая отвечала бы предъявляемым требованиям. Это осуществляется различными путями и в каждом случае конкретно, в частности расчисткой и углублением существующей открытой сети, заменой ее на закрытую. Поэтому при возможности следует в проектах реконструкции дренажной сети предусматривать регулирование дренажного стока.

В результате реконструкции дренажной сети и мелиоративных мероприятий чистый доход увеличился в 3—5 раз (табл. 44, 45). Окупаемость по чистому народнохозяйственному доходу 3—15 лет.

---

* Инструкция (методика) по определению экономической эффективности капитальных вложений в орошение и осушение земель и обводнение пастбищ. М., 1972, 34 с.

** Коваленко Б. Г. Проект инструкции по определению экономической эффективности мелиоративных мероприятий, повышающих водообеспеченность орошаемого земледелия. Фрунзе, 1967, 76 с.

Таблица 44. **Некоторые показатели для расчета экономической эффективности капитальных вложений в реконструкцию коллекторно-дренажной сети**

Название хозяйства	Параметры дренажа, м		Характеристика севооборота					
	глубина дрен	расстояние между дренами	название севооборота, число полей, набор культур	сельскохозяйственная культура	урожай, ц/га		себестоимость, ц/га	
					существующий	проектный	существующая	проектная
Учхоз Киргизского сельскохозяйственного института Сокулукского района	3	250	8-польный свекловичный севооборот: зерновые—37,5% сахарная свекла—25% травы многолетние—37,5%	Пшеница озимая	29,2	39	2,70	2,32
				Ячмень озимый	14,5	23	5,23	3,82
				Ячмень яровой	21,6	30	3,48	2,83
				Сахарная свекла	310,5	458	1,82	1,50
				Травы многолетние	58,2	85	1,04	0,87
				Кукуруза на силос	189,4	258	0,74	0,56
Атбашинский птицесовхоз Сокулукского района	3	275	8-польный зерновой № 2: зерновые—62,5% кукуруза на зерно—12,5% травы многолетние—25%	Пшеница озимая	17,2	32,1	5,18	3,36
				Ячмень яровой	15,9	29,5	4,88	3,11
				Кукуруза на зерно	22,2	44,6	9,10	4,73
				Травы многолетние	40,0	81,2	1,46	0,90

Продолжение

Название хозяйства	Параметры дренажа, м		Характеристика севооборота					
	глубина дрен	расстояние между дренами	название севооборота, число полей, набор культур	сельскохозяйственная культура	урожай, ц/га		себестоимость, ц/га	
					существующий	проектный	существующая	проектная
Овоще-мясной совхоз	3	260	8-польный овощной севооборот № 2 и 3: травы многолетние—25% зерновые—37,5% овощи—37,5%	Пшеница озимая	10,5	28	6,76	3,73
				Ячмень яровой	13,5	29,7	6,69	4,14
				Овощи	147,9	273	10,11	7,38
				Травы многолетние	55,8	104,3	2,44	1,73
I и III отделения совхоза „Чалловар" Калининского района	3,5	220	10-польный свекловичный севооборот № 1 и 10: зерновые—30% сахарная свекла—30% травы многолетние—30%	Ячмень	12,6	25,8	3,48	1,98
				Сахарная свекла	288	478	2,01	1,41
				Травы многолетние	20	68	1,08	0,61
				Кукуруза	187	362	0,81	0,47
Колхоз им. Ильича Калининского района	2,5—3,5	220	10-польный свекловичный севооборот: сахарная свекла—40% травы—20% зерновые—40%	Пшеница озимая	14	33	5,08	3,25
				Сахарная свекла	373	546	1,66	1,49
				Травы многолетние	35	83	2,58	1,65

Продолжение

Название хозяйства	Параметры дренажа, м		Характеристика севооборота					
	глубина дрен	расстояние между дренами	название севооборота, число полей, набор культур	сельскохозяйственная культура	урожай, ц/га		себестоимость, ц/га	
					существующий	проектный	существующая	проектная
Колхоз им. Фрунзе Московского района	3—3,5	220	8-польный зерновой № 4 и 10-польный свекловичный: зерновые—47,7% сахарная свекла—18,2% травы многолетние—34,1%	Пшеница озимая	16,1	33	4,51	2,93
				Ячмень яровой	14,2	30	2,82	1,63
				Кукуруза на зерно	18,1	44	5,66	2,77
				Сахарная свекла	370	467	1,81	1,56
				Травы многолетние	38	85	1,41	0,89
				Травы однолетние	139	155	0,21	0,20
Колхоз „Заветы Ильича" Московского района	3—3,5	200	Два свекловичных, один зерновой: сахарная свекла—33,9% травы—26,4% зерновые—39,7%	Пшеница озимая	21,7	33,3	2,92	2,36
				Пшеница яровая	18,5	25	3,17	2,50
				Ячмень яровой	18,5	29	3,05	2,41
				Кукуруза на зерно	26,9	44,6	4,90	3,38
				Сахарная свекла	266	446	1,95	1,39
				Травы многолетние	39,1	71	1,78	1,27

Таблица 45. **Технико-экономические показатели по реконструкции**

Название хозяйства	Площадь $\frac{\text{орит}}{\text{вал}}$, га / га	Протяженность КДС, км			Капитальные затраты, тыс. руб. / руб/га				
						в том числе			
		коллекторов	закрытых дрен	открытых дрен	всего	сеть дренажная	промывка*	рассоление	планировка
Учхоз Киргизского сельскохозяйственного института Сокулукского района	822 / 863	5,1	21,55	13,31	1234,08 / 1500	867,38 / 1055	51,2 / 800	68,9 / 100	246,6 / 300
Ат-Башинский птицесовхоз Сокулукского района	400 / 454	7,34	9,23	3,15	673 / 1660	407 / 1015	120 / 800	26 / 100	120 / 300
Овоще-мясной совхоз Кантского района	566 / 670	5,95	14,07	5,38	997,41 / 1750	536,6 / 950	238,0 / 800	23,0 / 100	169,8 / 300
II и III отделения совхоза „Чалдовар" Калининского района	1256 / 1400	19,85	28,47	26,61	2536 / 2019	1473 / 1175	640 / 800	46 / 100	377 / 300
Колхоз им. Ильича Калининского района	750 / 900	11,67	23,03	—	1563,32 / 2100	1365,5 / —	181,6 / 800	15,7 / 100	—
Колхоз им. Фрунзе Московского района	1257 / 1400	20,39	36,32	22,77	2454,8 / 2073	1563,5 / 1245	516 / 800	49,5 / 100	325,8 / 300
Колхоз „Заветы Ильича" Московского района	873 / 1040	20,25	18,37	26,68	1535,6 / 1758	1052 / 1205	215,6 / 800	6,5 / 100	261,9 / 300

* Затраты на проведение планировки и промывок засоленных земель приняты по укрупненным показателям.

** $\frac{A}{B}$ — А — За счет чистого дохода; В — За счет народнохозяйственного дохода.

коллекторно-дренажной сети (КДС) на объектах Чуйской долины

Стоимость всей продукции, тыс. руб.			Себестоимость всей продукции, тыс. руб.			Чистый доход, тыс. руб. / руб. га			Эксплуатационные затраты (всего), тыс. руб.	За счет дополнительной продукции, тыс. руб.	Окупаемость $\frac{A^{**}}{B}$, лет
существующая	проектная	дополнительная	существующая	проектная	дополнительная	существующая	проектная	дополнительная			
312,6	793,3	480,7	233,2	457,4	224,2	79,4 / 97	335,9 / 409	256,5 / 312	50,3 / 18		5,2 / 3,2
41,1	210,9	169,8	31,0	118,2	87,2	10,1 / 23,4	92,7 / 223	82,6 / 204	24,0 / 16,0		10 / 5,7
314,0	641,1	327,1	238,3	377,5	139,2	75,7 / 131	263,6 / 466	187,9 / 322	31,0 / 15		6 / 4
487,5	968,7	481,2	379,9	572,2	192,3	177,6 / 86	396,5 / 316	238,9 / 230	85,4 / 36,7		10 / 6,4
508,3	912,6	404,3	338,6	546,1	207,5	169,7 / 229	366,5 / 495	196,8 / 256	21,95 / 8,6		— / 7,1
329,5	734,8	405,3	230,0	436,1	206,1	99,5 / 84	298,7 / 252,2	199,2 / 168,2	90,7 / 26,4		15 / 9
360	606,5	246,5	303,8	413,3	109,5	56,2 / 61	193,2 / 221	137 / 157	61 / 21,6		11 / 8

5. ПРОМЫВКА ЗАСОЛЕННЫХ ЗЕМЕЛЬ (ПОЛЕВЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ)

ПРОМЫВКА ЗЕМЕЛЬ БЕЗ ДРЕНАЖА И НА ФОНЕ ПОСТОЯННОГО ДРЕНАЖА

Промывки в Чуйской долине начали проводить в 1936 г. (Каплинский, Шеслер, 1970) сначала на землях без дренажа, затем на фоне дренажа горизонтального (открытого и закрытого) и вертикального. Сводные данные о промывке засоленных земель и ее эффективности на фоне дренажа приведены в таблицах 46—48. Солевые профили до и после промывки показаны на рисунках 20, 21. В результате промывок происходит качественное улучшение солей.

Вымыв солей в бездренажных условиях зависит, кроме прочих условий, от исходной глубины залегания грунтовых вод. Так, при промывках в совхозе «Джанги-Пахта» в осенний период нормами 3—6 тыс. м³/га засоление уменьшилось в 1,5—2 раза.

Из-за подъема уровня грунтовых вод при промывках и неглубокого их залегания в последующем происходит подтягивание солей к поверхности и засоление почвогрунтов. Так, на участке промывки в совхозе «Джанги-Пахта» произошло повторное засоление почвогрунтов.

Высокая агротехника (органо-минеральные удобрения, своевременные обработки, поливы, травопольные севообороты) способствует снижению засоления. Так, при промывках в совхозе им. Фрунзе за 15 лет (1936—1950) содержание физиологически вредных солей (хлористый натрий, сульфаты натрия и магния) уменьшилось в 2—3 раза. Способ промывки (по чекам, полосам) особенно не влияет на опреснение. При одних и тех же нормах выносится неодинаковое количество солей.

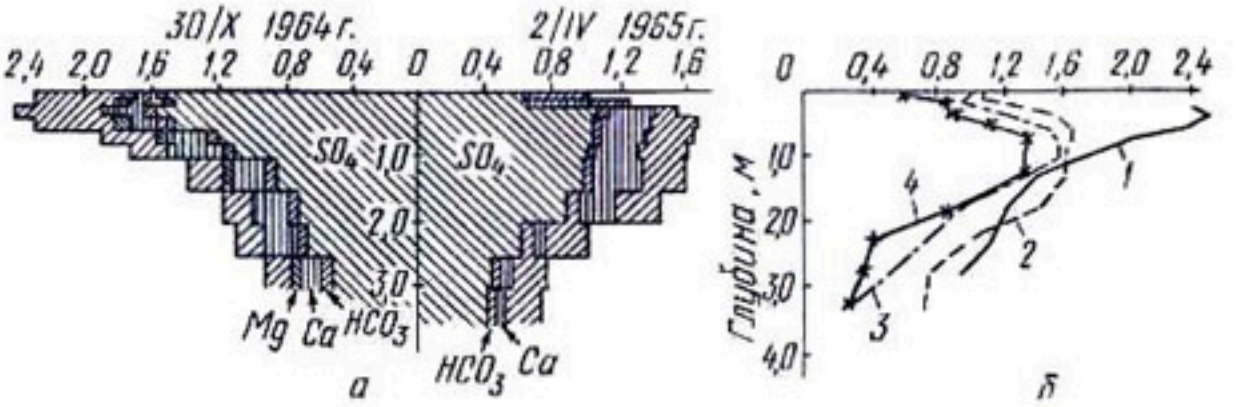


Рис. 20. Солевой профиль в точке *8* промываемого поля в совхозе «Чалдовар» на 30/X 1964 г. и 21/IV 1965 г. *(а)* и изменение засоления почвогрунтов по плотному остатку в точке *8* при промывках в совхозе «Чалдовар» *(б)*:

1 — до промывки 30/X 1964 г.; *2* — весной 21/IV 1965 г.; *3* — до промывки 15/XI 1965 г.; *4* — весной 25/III 1966 г.

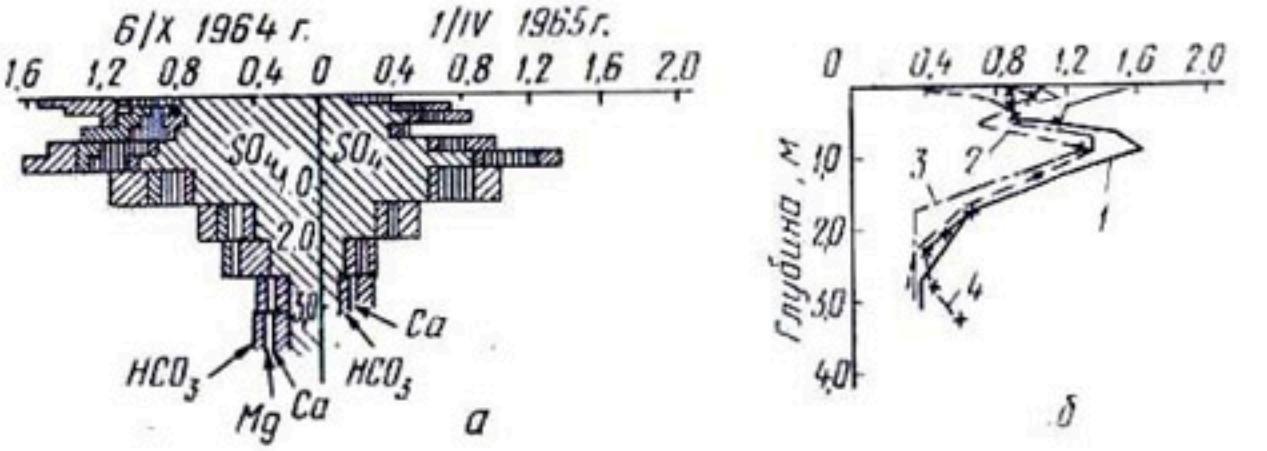


Рис. 21. Солевой профиль по точке *12* промываемого поля в колхозе «Победа» на 6/X 1964 г. и 1/IV 1965 г. *(а)* и изменение засоления почвогрунтов по плотному остатку в точке *12* при промывках в колхозе «Победа» *(б)*:

1 — до промывки 6/X 1964 г.; *2* — весной 1/IV 1965 г.; *3* — до промывки 30/X 1965 г.; *4* — весной 25/IV 1965 г.

При промывках соли перемещаются из верхних горизонтов в нижние. Количество вымытых солей к осени последующего года почти полностью восстанавливается, а иногда засоление даже увеличивается. Так, при промывках в совхозе «Чалдовар» в весенний период 1965 г. содержалось 1,41% солей, а к осени—1,47%. Минерализация грунтовых вод сразу после промывок обычно увеличивается, что свидетельствует о вымывании солей в грунтовые воды, затем происходит постепенное ее уменьшение.

Внесение удобрений после промывок позволяет получать высокие урожаи сельскохозяйственных культур.

Таблица 46. Характеристика участков промывки засоленных земель в Чуйской долине на фоне постоянного дренажа

Название участка и междренний	Годы наблюдений	Площадь промывки, га	Способ промывки	Параметры дренажа		Глубина уровня грунтовых вод до промывки, м	Тип засоления почвогрунтов	Коэффициент фильтрации, м/сут	Грунты
				глубина t, м	расстояние между дренами, м				
Совхоз им. Фрунзе (Кантский опорный пункт)	1936	18	По чекам	1,5	120—200	1,5—1,7	Сульфатный $Na^{+}-Mg^{++}$		Тяжелые суглинки
Совхоз „Джанги-Пахта" (КиргОМС)	1947	0,27—0,36	По чекам	Без дренажа			Хлоридно-сульфатный		То же
Совхоз „Джанги-Джер" (Чуйская лубяная ОМС)	1949	20,9	Профилактический полив	Без дренажа					
Колхоз „Трудовик" (КиргОМС)	1951	18	По чекам	1,5	260	1,3—1,8	То же		Суглинки средние и тяжелые, сильно омергелированные с глубины 2,5 м
	1952	2,7	По полосам						Суглинки тяжелые
Совхоз „Чалдовар", Д-29-1—Д-30-20	1964—1965	2	По чекам	2,8—3,3	320	2,3—2,8	Сульфатный	0,5—1,0	Средние и тяжелые суглинки
Колхоз „Победа", Д-28-3-1—Д-28-3-2 (КиргНИИВХ)	1964—1965	5	По чекам	3,0—3,5	450		Сульфатный	0,8	То же

Продолжение

Название участка и межарений	Годы наблюдений	Площадь промывки, га	Способ промывки	Параметры дренажа: глубина t, м	Параметры дренажа: расстояние между дренами, м	Глубина уровня грунтовых вод до промывки, м	Тип засоления почвогрунтов	Коэффициент фильтрации, м/сут	Грунты
Совхоз „Чалдовар", Д-30-18—Д-30-19 (КиргНИИВХ)	1965	6	Возделывание риса	2,7—3,0	450—470	1,4—2,0	Сульфатный $Ca^{++}-Na^{+}$		То же
Совхоз „Пригородный"	1965—1966	5	То же		250	1,5—2,5	Хлоридно-сульфатно-натриевый		Суглинки тяжелые, подстилаемые ожелезненными суглинками
Совхоз „Джанги-Джер" (КиргНИИВХ)	1966—1967	23	По чекам	Вертикальный дренаж от центра поля удален на 240, 1000 и 1350 м		1,70	Сульфатный $Mg^{++}-Ca^{++}$ и $Ca^{++}-Na^{+}$	4,0	Лессовидные супеси, подстилаемые переслаивающимися суглинками и песками
Совхоз „Чалдовар" (КиргНИИВХ)	1967	51,3	Профилактический полив в чеки напуском	Вертикальный дренаж	530—470	2,55	Сульфатный $Mg^{++}-Ca^{++}$ и $Ca^{++}-Na^{+}$	0,7—0,9	Средний суглинок и супеси, подстилаемые переслаивающимися песками, средними и тяжелыми суглинками
Колхоз им. Ильича (КиргНИИВХ)	1971	0,37	По полосам	3,0	300	3,2	Сульфатный $Mg^{++}-Ca^{++}$ и $Ca^{++}-Na^{+}$		Средние суглинки с прослоями супеси

Таблица 47. **Эффективность промывки метрового слоя почвогрунтов на фоне постоянного дренажа в Чуйской долине**

Название участка	Период наблюдений	Промывная норма, тыс. м³/га		Засоление почвогрунтов*, %		Рассоление, % к исходному	Затраты воды на вымыв 0,01% солей, м³
		брутто (фактическая)	нетто (исправленная)	до промывки	после промывки		
Совхоз им. Фрунзе	6—27/X 1936 г.	4,0	—	1,78	1,70	4,5	500
Совхоз „Джанги-Пахта"	1947 г.	3,0	—	1,100	0,640	41,8	65
		4,5	—	1,070	0,550	48,6	86
		6,0	—	0,920	0,640	30,4	214
Совхоз „Джанги-Джер"	1949 г.	2,1—2,3	—	0,039 Хлор	0,026	33,3	170
Колхоз „Трудовик"	25/X—30/XI 1951 г.	4,54	—	0,114 „	0,023	79,8	50
	1952 г.	4,12	—	0,103 „	0,030	70,9	56
Колхоз „Трудовик", ширина полос, м:	1952 г.						
3,6		1,9	—			62,7	
7,2		1,6	—			75,8	
10,8		1,7	—			69,2	
Совхоз „Чалдовар"	30/X 1964 г.	2,1—12,0	1,2—11,6	0,9—2,2	0,58—1,7	(24,2)	32—350 (180—207)
	20/V 1965 г.	(6,7)	(6,2)	(1,57)	(1,19)		
Колхоз „Победа"	5/X 1964 г. 30/III 1965 г.	2,1—7,9	1,2—6,6	0,6—1,56	0,42—1,16	(39,4)	24—605 (127—135)
		(4,8)	(3,9)	(1,32)	(0,8)		

Продолжение

Название участка	Период наблюдений	Промывная норма, тыс. м³/га		Засоление почвогрунтов*, %		Рассоление, % к исходному	Затраты воды на вымыв 0,01% солей, м³
		брутто (фактическая)	нетто (исправленная)	до промывки	после промывки		
Совхоз „Чалдовар"	17/V—18/IX 1965 г.	20,5		1,177—2,411 (1,616)	0,905—2,075 (1,297)	19,7	642
				0,278—1,362 (0,720)	0,161—1,237 (0,492)	31,7	894
Совхоз „Пригородный"	1965—1966 г.	72,0	27,0	1,5—2,5 Хлор 0,025—0,012	0,25—0,45 0,001—0,006	84—83	216—132
Совхоз „Джанги-Джер"	19/X—26/XI 1966 г.	2,7	2,1	0,452	0,350	22,6	270
Совхоз „Чалдовар"	4—26/IX 1967 г.	3,54	—	1,626 0,925 133,73 т	1,345 0,681 83,45 т	17,3 26,4	126
Колхоз им. Ильича	1971 г.	6,3—7,9	5,1—6,9	1,48 0,78	0,89 0,24	39,9 69,2	120 131
		12,4—14,2	11,6—13,8	1,51—1,61 0,78—0,80	0,87—1,04 0,19—0,35	42,3—35,4 75,6—56,2	194—249 210—315

* Засоление почвогрунтов показано в числителе по плотному остатку, в знаменателе — по сумме токсичных солей.

Таблица 48. **Изменение минерализации грунтовых и дренажных вод при промывке засоленных земель на фоне постоянного дренажа в Чуйской долине**

Название участка	Период наблюдений	Минерализация грунтовых вод, г/л		Рассоление, % к исходному	Минерализация дренажных вод, г/л		Рассоление, % к исходному
		до промывки	после промывки		до промывки	после промывки	
Свеклосовхоз им. Фрунзе	6—27/X 1936 г.	10,0	12,84	+28,4	—	—	—
Совхоз „Джанги-Пахта"	1947 г.	—	—	—	—	—	—
Совхоз „Джанги-Джер"	1949 г.	Хлор 0,162	0,275	+69,7			
Колхоз „Трудовик"	25/X—30/XI 1951 г.	2,6—41,0 (21,8)	8,6—59,6 (34,1)	+56,4	—	—	—
Совхоз „Чалдовар"	30/X 1964 г. 20/V 1965 г.	5,23	7,96	+52			
Колхоз „Победа"	5/X 1964 г. 30/III 1965г.	7,30	5,90	−19,2	1,79 2,08	—	—
Совхоз „Чалдовар"	17/V—18/IX 1965 г.	9,6—47,6 (25,65)	5,0—31,1 (14,46)	43,5	—	—	—
Совхоз „Пригородный"	1965 г. 1966 г.	5—15,0	—	—	—	—	—
Совхоз „Джанги-Джер"	19/X—26/XI 1966 г.	1,90	4,43	+133	0,91	1,05	+16
Совхоз „Чалдовар"	4—26/IX 1967 г.	7,3—25,9 (16,4)	19,1	16,5	0,17	0,12—0,24	
Колхоз им. Ильича	1971 г.	7,82 7,05	7,92 8,30	+12,8 +15,2	— —	— —	— —

Так, внесение в почву 20—30 т/га навоза, 30—160 кг/га азота и 15—230 кг/га фосфорной кислоты позволило получить на Кантском опорном пункте высокие и устойчивые урожаи: сахарной свеклы 445—663 ц/га, сена люцерны 120—134 ц, озимой пшеницы 22,8—28,5 ц/га и т. д.

Рис. 22. Динамика уровня грунтовых вод по скважинам 3, 6, 9 в междренье Д-29-1 — Д-30-20 в совхозе «Чалдовар».

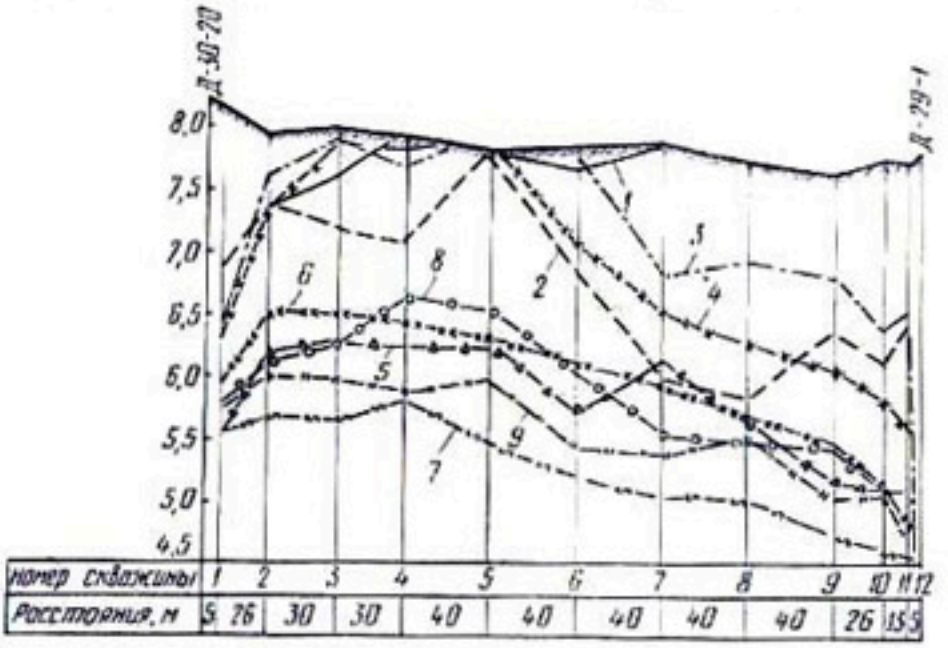


Рис. 23. Депрессионные кривые на промываемом поле в междренье Д-29-1—Д-30-20 в совхозе «Чалдовар»:

1 — на 3/XI 1964 г.; *2* — 10/XI 1964 г.; *3* — 19/X 1964 г.; *4* — 23/XI 1964 г.; *5* — 5/I 1965 г.; *6* — 15/VI 1965 г.; *7* — 15/IX 1965 г.; *8* — 12/XI 1965 г.; *9* — 3/II 1966 г.

Минерализация дренажных вод обычно меньше минерализации грунтовых вод, что свидетельствует о поступлении в дренаж неминерализованных или слабоминерализованных подземных вод. После промывок минерализация дренажных вод увеличивается из-за поступления в дрены засоленных грунтовых вод со стороны междрений.

Вынос солей к поверхности за вегетационный период обычно наблюдается при глубине уровня грунтовых вод менее 1,5—2 м. Так, на участке в совхозе «Чалдовар» за вегетационный период 1965 г. (рис. 22, 23) уровень

грунтовых вод по скважине 3 находился на глубине 0,6—2,3 м; по скважине 6 — на глубине 1,7—2,6 м, по скважине 9 — на глубине 2,2—2,8 м. При глубине уровня грунтовых вод 2,2—2,8 м подтягивания солей не произошло, при глубине 1,7—2,6 м отмечалось подтягивание солей, уменьшение засоления, при глубине 0,6—2,3 м (с мая по сентябрь 1,5—2,3 м) по двум точкам произошло уменьшение солей, по одной — увеличение.

В междуречье Д-29-2-4 — Д-29-2-5 уровень грунтовых вод в вегетационный период (рис. 24, 25) в середине между дренами находился в среднем на глубине 1—1,5 м, поднимаясь в момент поливов до поверхности земли. В этих условиях увеличилось засоление земель в метровом слое с 0,56 до 0,97% и стало больше, чем

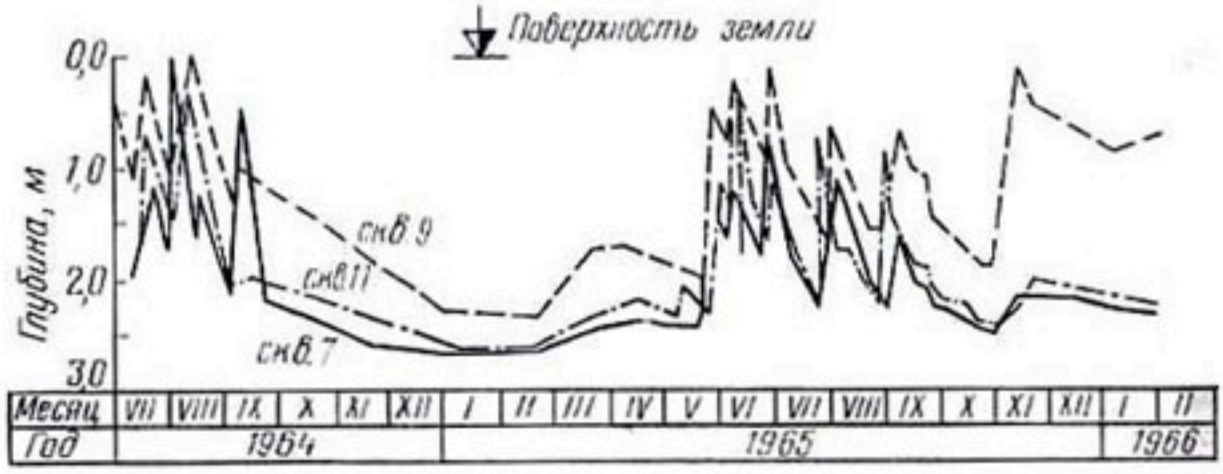


Рис. 24. Динамика уровней грунтовых вод по скважинам 7, 9, 11 в междуречье Д-29-2-4—Д-29-2-5 участка в совхозе «Чалдовар».

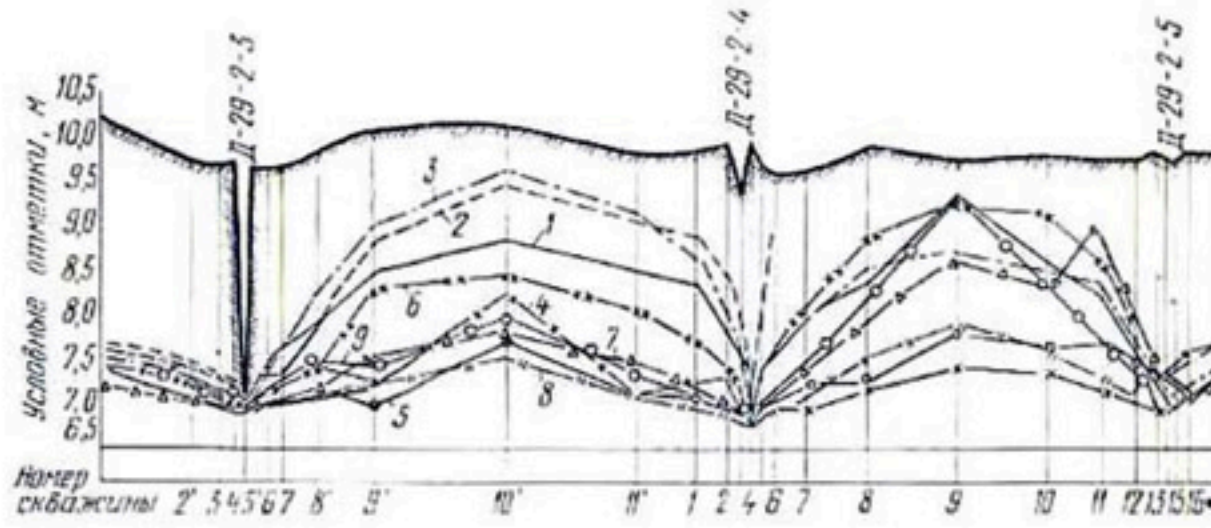


Рис. 25. Депрессионные кривые в междуречьях Д-29-2-3—Д-29-2-4 и Д-29-2-4—Д-29-2-5 в совхозе «Чалдовар»:

1 — на 14/VII 1964 г.; *2* — 17/VII 1964 г.; *3* — 29/VII 1964 г.; *4* — 5/I 1965 г.; *5* — 10/V 1965 г.; *6* — 12/VI 1965 г.; *7* — 23/VII 1965 г.; *8* — 30/X 1965 г.; *9* — 19/XI 1965 г.,

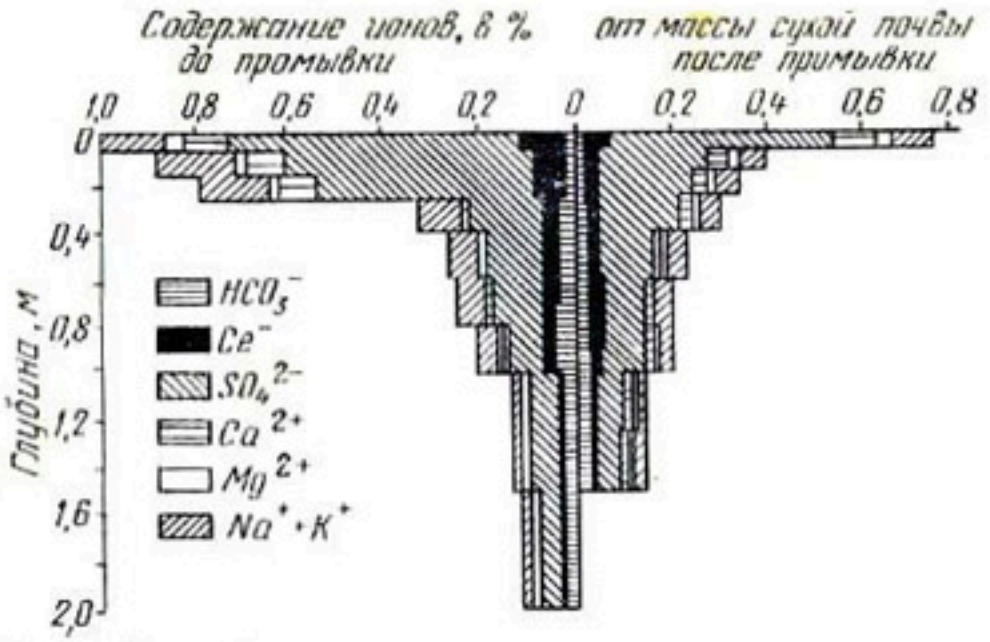


Рис. 26. Солевой профиль промываемого поля до и после промывки (совхоз «Джанги-Джер», шурф № 18, расстояние от точки откачки 380 м).

до промывок. Наибольшее увеличение засоления произошло в точке 9, расположенной в середине между дренами (с 0,52 до 1,05%). При промывках на фоне вертикального дренажа с удалением от точки вынос солей уменьшается (Сабитов, Мякушко, 1970). Отмечено закономерное увеличение минерализации грунтовых вод и минерализации откачиваемой воды. Солевой профиль до и после промывки представлен на рисунке 26.

Таким образом, сводные данные о промывках засоленных земель в бездренажных условиях и на фоне только постоянного (открытого и закрытого горизонтального и вертикального) дренажа (см. табл. 46—48) показывают следующее:

промывки в бездренажных условиях не эффективны;

при промывках на фоне постоянного дренажа достигается лишь рассоление верхних горизонтов почвогрунтов при значительных затратах промывной воды, и поэтому необходимо после промывок поддерживать требуемый режим грунтовых вод и поливов, при которых не было бы выноса солей к поверхности, в противном случае эффект промывок значительно снижается;

необходимо искать пути коренного рассоления земель с выносом солей из всей засоленной толщи за пределы промываемых массивов или применять способы нейтрализации вредных солей.

ПРОМЫВКА НА ФОНЕ ДРЕНАЖА С ПРИМЕНЕНИЕМ ВРЕМЕННОГО ГОРИЗОНТАЛЬНОГО ДРЕНАЖА

Промывка засоленных земель на фоне временного горизонтального дренажа проведена на трех участках в колхозе «Победа», им. Ильича Калининского района и «Коминтерн» Московского района (табл. 49—51). К некоторым особенностям промывки засоленных земель на таком фоне можно отнести следующие:

для рассоления почвогрунтов до порога токсичности промывные нормы могут не превышать 6 тыс. м³/га. Так, промывки в колхозе «Победа» (северная часть поля) при сильной исходной степени засоления показали, что после подачи нормы от 5,1 до 6,4 тыс. м³/га рассоление

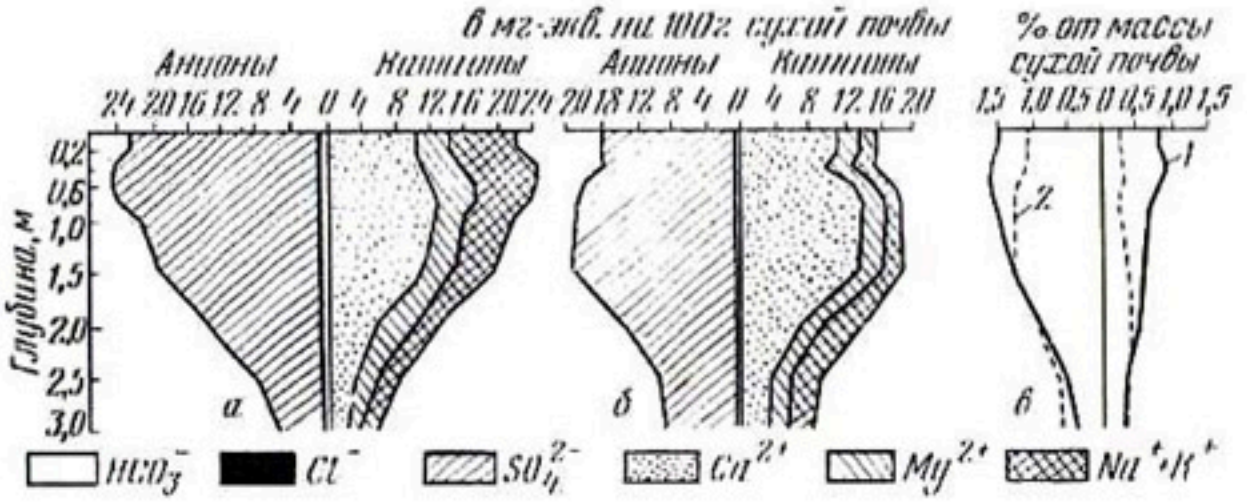


Рис. 27. Солевой профиль почвогрунтов в точке *8*:
а — до промывки; *б* — после промывки; *1* — сумма токсичных солей до промывки; *2* — общая сумма солей после промывки.

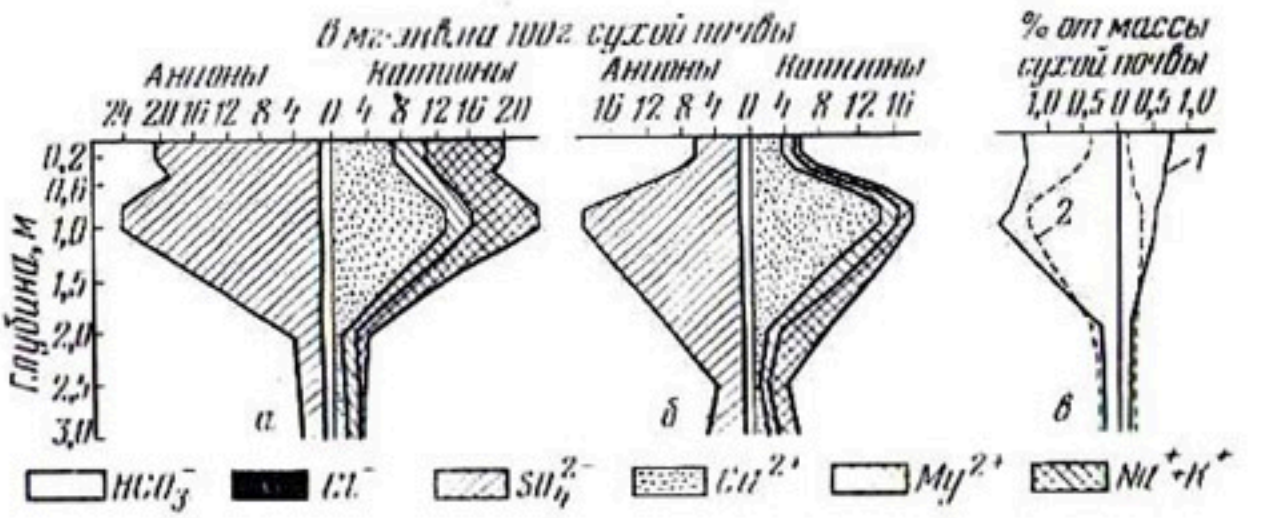


Рис. 28. Солевой профиль почвогрунтов (осредненный по точкам в середине чеков) в колхозе «Коминтерн». Обозначения см. на рис. 27.

Таблица 49. **Характеристика участков промывки засоленных земель в Чуйской долине на фоне дренажа (горизонтального и вертикального) с применением временного горизонтального дренажа**

Название участка	Годы	Площадь промывки	Способ промывки	Параметры дренажа*, м		Глубина грунтовых вод до промывки, м	Тип засоления почвогрунтов	Коэффициент фильтрации, м/сут	Почвогрунты
				глубина	расстояние между дренами				
Колхоз „Победа" Д-28-3-1—Д-28-3-2	1966	9	По чекам	3—3,5 / 1,75	450 / 50	3,0	Сульфатный $Ca^{++} - Na^{+}$	0,8	Суглинки средние с глубины 60—80 см до 150 см гипсовые горизонты
(КиргНИИВХ)	1967		То же			2,35	$Ca^{++} - Na^{+}$	0,8	
	1967		„ „	3—3,5 / 0,7—0,9	450 / 22—25	1,90	$Ca^{++} - Na^{+}$	0,8	
Колхоз „Коминтерн", Д-0—Д-1 (КиргНИИВХ)	1969—1970	15	„ „	3 / 0,7—0,9	280 / 25	2,86	Сульфатный с повышенным содержанием $CaSO_4$	0,2—0,5	Суглинки средние и тяжелые с глубины 3 м подстилаются карбонатными глинами
Колхоз им. Ильича, Д-2-3-1—Д-2-3-2 (КиргНИИВХ)	1970—1971	6,5	„ „	3,0 / 0,7—0,8	280 / 20—30	2,9-4,1 (3,34)	Содово-сульфатный, сульфатный	0,3—1,0	Суглинки средние с прослоями луговой извести и гипса

* Параметры дренажа: в числителе для постоянного, в знаменателе для временного.

Таблица 50. **Эффективность промывки метрового слоя почвогрунтов на фоне постоянного дренажа (горизонтального и вертикального) с применением временного горизонтального в Чуйской долине**

Название участка	Период наблюдений	Промывная норма, тыс. м³/га		Засоление почвогрунтов, % от массы сухой почвы*		Рассоление, % к исходному	Затраты воды на вымыв 0,01% солей, м³
		брутто (фактическая)	нетто (исправленная)	до промывки	после промывки		
Колхоз „Победа"	14/X—21/XI 1966 г.	2,0—9,4 (5,05)	—	0,837	0,548	34,5	174
То же	13/IV—13/V 1967 г.	2,2—15,4 (9,04)	—	0,548	0,555	—	—
	9/V—7/VII 1967 г.	6,6—13,8 (9,0)	—	0,957	0,742	22,6	428
Колхоз „Коминтерн"	17/X—30/XII 1969 г.	9,1	8,0	1,702 / 0,778	1,239 / 0,315	27,2 / 59,5	198(174) / 198(174)
Колхоз им. Ильича	13/X 1970 г. 28/V 1971 г.	16,3	—	0,776	0,336	56,7	370

* Засоление почвогрунтов показано в числителе по плотному остатку, в знаменателе — по сумме токсичных солей.

Таблица 51. **Изменение минерализации грунтовых и дренажных вод при промывке засоленных земель на фоне постоянного дренажа с применением временного горизонтального в Чуйской долине**

Название участка	Период наблюдений	Минерализация грунтовых вод, г/л		Минерализация дренажных вод, г/л*	
		до промывки	после промывки	до промывки	после промывки
Колхоз „Победа"	14/X—21/XI 1966 г.	7,41	9,95	2,25 4,6	2,8 5,3
	13/IV—13/V 1967 г.	9,95	7,41	2,5 5,3	2,8 4,9
	9/V—7/VII 1967 г.	9,1	6,86	2,05 7,1	2,8 4,2
Колхоз «Коминтерн»	19/X—30/XII 1969 г.	7,74	12,48	3,17 10,7	4,52 10,0
Колхоз им. Ильича	13/X 1970 г. 28/V 1971 г.	0,656—23,08	0,728—19,350	4,636	5,082 2,87

* Минерализация дренажных вод: в числителе по постоянным дренам, в знаменателе по временным.

в слое 0—100 см составило 46,3%. По токсичным солям рассоление достигнуто ниже порога токсичности (0,3%). Солевые профили показаны на рисунке 27, 28;

под влиянием промывок отмечается уменьшение токсичности солей. Количество катионов натрия и магния уменьшается, причем преобладают катионы магния. Количество катионов кальция, как правило, превышает количество катионов натрия и магния. Так, при промывках на участке в колхозе «Победа» до промывок преобладал натриево-кальциевый или кальциево-натриевый тип засоления, после промывок стал преобладать магниево-кальциевый;

показатели рассоления по токсичным солям выше, чем по плотному остатку. Это связано с наличием малорастворимых и менее подвижных нейтральных солей $Ca(HCO_3)_2$ и $CaSO_4$. При промывках происходит относительное уменьшение легкорастворимых и увеличение труднорастворимых солей;

минерализация грунтовых вод увеличивается. Так, при промывках на участке в колхозе «Коминтерн» после подачи промывной нормы 9,1 тыс. м³/га минерализация увеличилась в среднем в 1,6 раза;

минерализация дренажных вод по временным дренам выше минерализации грунтовых вод и при промывках изменяется в значительных пределах. На участке в колхозе «Коминтерн» она изменялась в пределах 5—21 г/л. Минерализация дренажной воды по постоянным закрытым дренам ниже минерализации грунтовых вод и почти не меняется в период промывок (рис. 29, 30);

гидродинамическая картина работы временного дренажа идентична картине работы постоянного дренажа. Так, при полном затоплении междрений линии равного напора в междрепьях имеют горизонтальное направление, вблизи дрен они ориентированы вокруг них. Следовательно, в междренье грунтовый поток направлен вертикально вниз, вблизи дрен вода в дрены поступает и с боков, и снизу. При опускании грунтовых вод ниже поверхности земли и образовании депрессионной кривой движение грунтового потока в междренье изменяет свое направление с вертикального на горизонтальное, растекание потока идет по направлению к дренам;

чем меньше расстояние между дренами, тем больше эффект выноса солей;

скорость спада уровня грунтовых вод после прекращения промывки зависит от действующего напора и от междренного расстояния. При одном и том же действующем напоре ме́ньшему междренному расстоянию соответствует бо́льшая скорость спада. При промывках в колхозе «Победа» наибольшая скорость спада уровня грунтовых вод в северной части поля составила 44,5 см/сут, в южной части — 95 см/сут, наименьшая скорость спада соответственно 2,1 и 7 см/сут;

убыль солей при промывках вблизи временных дрен больше, чем в середине чеков. Так, при промывках в колхозе «Коминтерн» средней нормой 9,1 тыс. м³/га убыль солей в метровом слое по плотному остатку в середине чеков составила 26,6%, вблизи временных дрен —35,9%, токсичных солей вынесено соответственно 59,5 и 73,4%;

основное количество солей выносится временным дренажем за пределы промываемых массивов. Например, при промывке в колхозе «Коминтерн» токсичных

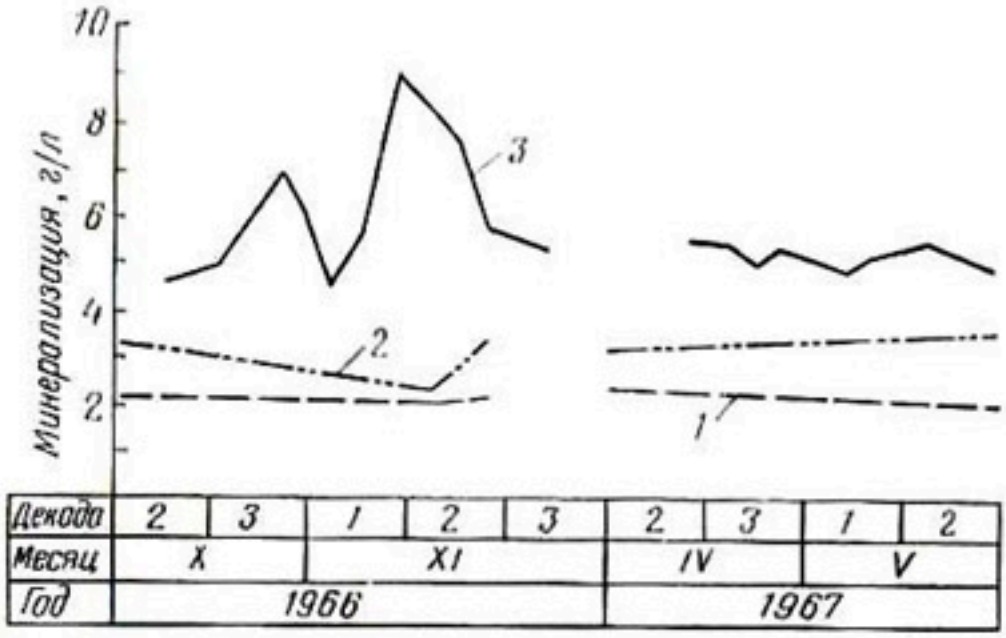


Рис. 29. Динамика минерализации дренажной воды при промывках по участку в колхозе «Победа» (северная часть поля):

1 — закрытая дрена Д-28-3-1; *2* — закрытая дрена Д-28-3-2; *3* — временный водособиратель ВС-1.

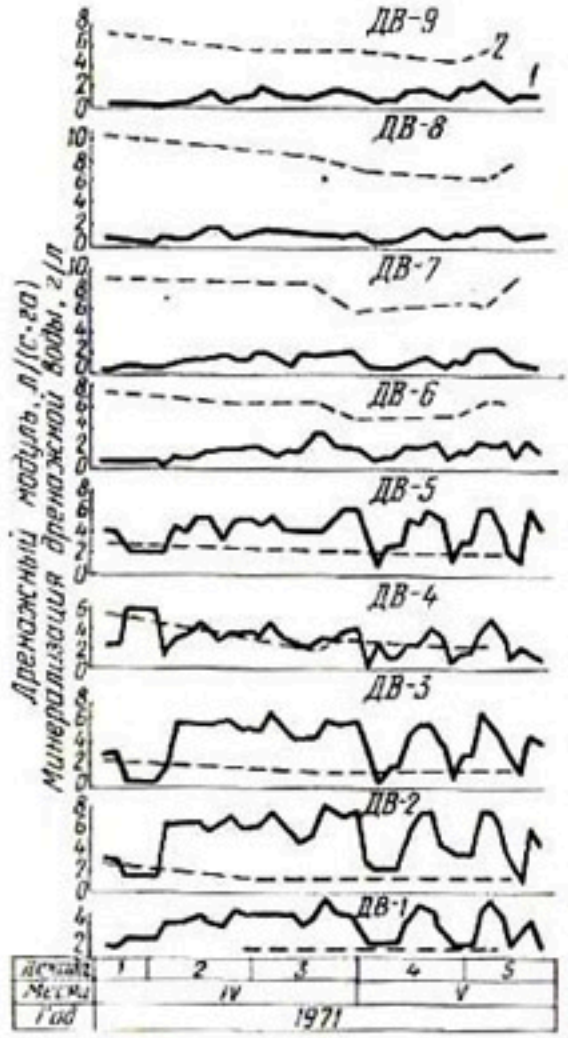


Рис. 30. Динамика дренажного модуля (*1*) и минерализации дренажной воды (*2*) по временным дренам (ДВ) при промывках в колхозе им. Ильича (карта 6).

солей вынесено с 1 га постоянными дренами 19,2%, временными — 80,8% всего их количества;

дренажный модуль по постоянным дренам значительно меньше, чем по временным. Так, при промывке на участке в колхозе «Коминтерн» дренажный модуль по постоянным дренам изменялся от 0,1 до 0,578 л/(с·га), по временным дренам — от 0,15 до 2,91 л/(с·га) (рис. 31), на участке в колхозе «Победа» (рис. 32, 33) по временным дренам он доходил до 7 л/(с·га);

данные об основных элементах водного баланса (табл. 52) показывают, что в приходных статьях главная — водоподача, в расходных — дренажный сток; временными дренами отводится воды в 2—4 раза больше, чем постоянными. Так, на участке в колхозе им. Ильича временными дренами отведено воды в 4,1 раза больше, чем постоянными;

по данным об элементах солевого баланса (табл. 53) можно сделать вывод, что основное количество солей при промывках отводится временными дренами. На участке в колхозе им. Ильича в течение 58 сут временными дренами отведено солей в 2,4 раза больше, чем постоянными; глубокие закрытые дрены отводят в основном соли из нижележащих горизонтов и напорных грунтовых вод;

данные по динамике засоления почвогрунтов, грунтовых и дренажных вод, урожайности сельскохозяйственных культур после промывок показывают, что при поддержании уровня грунтовых вод на глубине 2 м и более и при орошении засоление не увеличивается. Так, на уча-

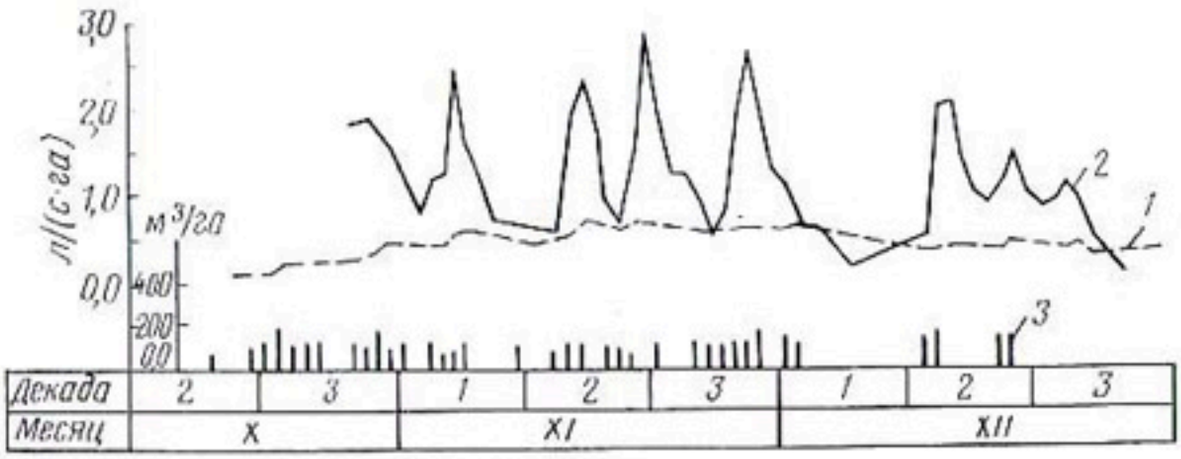


Рис. 31. Дренажный модуль по постоянным (*1*), временным (*2*) дренам и водоподача (*3*) при промывках на участке в колхозе «Коминтерн».

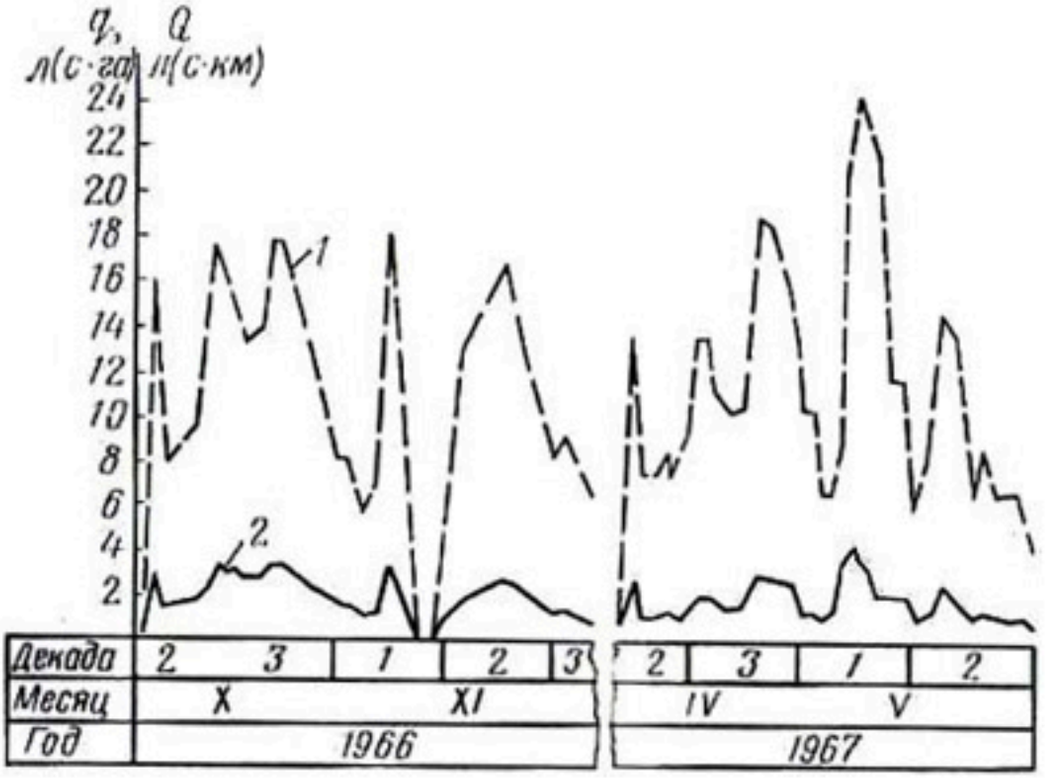


Рис. 32. Динамика удельных расходов (*1*) и дренажного модуля (*2*) по временным дренам глубиной 1,75 м при промывках на участке в колхозе «Победа» (северная часть поля).

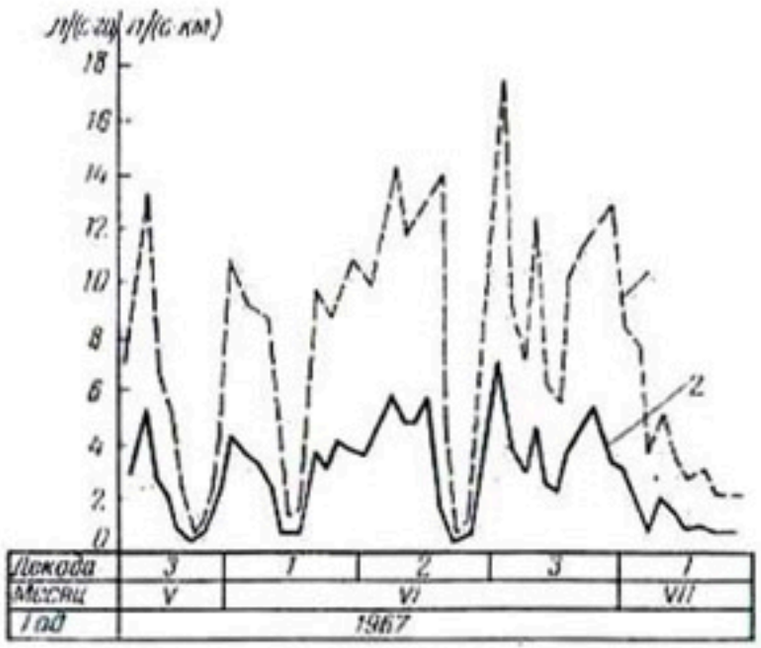


Рис. 33. Динамика удельных расходов (*1*) и дренажного модуля (*2*) по временным дренам глубиной 0,7—0,9 м при промывках на участке в колхозе «Победа» (южная часть поля).

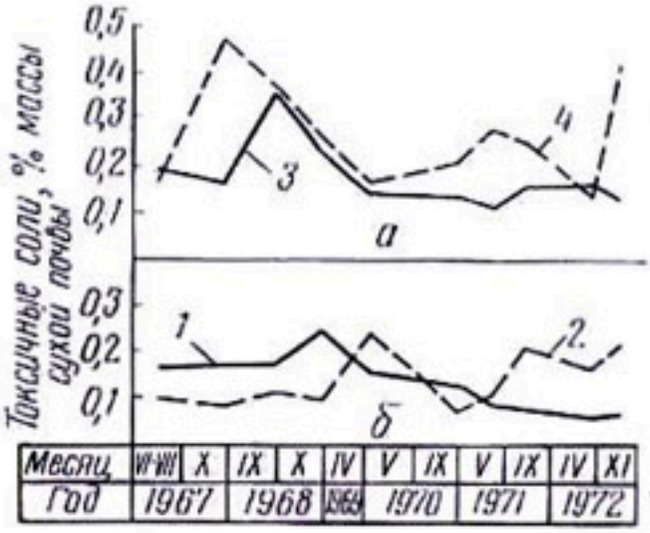


Рис. 34. Динамика засоления в метровом слое почвогрунтов в периоды вегетации:

а — южная часть поля; *б* — северная часть поля; *1, 3* — на расстоянии 35,5 м; *2, 4* — на расстоянии 225 м от постоянных закрытых дрен на участке в колхозе «Победа».

стке в колхозе «Победа» за пятилетний период с 1968 по 1972 г. количество солей не превысило 0,218% (рис. 34). При указанных уровнях грунтовых вод, но без планового режима орошения засоление увеличивается. На участке в колхозе «Коминтерн» за три года количество солей в метровом слое увеличилось до 0,341—0,498%, при уровнях грунтовых вод вблизи дрен 2,3—2,9 м количество солей уменьшилось; минерализация грунтовых и дренажных вод или не меняется, или имеет тенденцию к некоторому постепенному уменьшению; урожайность сельскохозяйственных культур после промывок засоленных земель резко увеличивается. Так, в колхозе «Победа» получены урожаи сахарной свеклы 300—475 ц/га, озимой пшеницы — 35 ц/га;

на фоне вертикального дренажа с применением временного горизонтального промывными нормами 7—19 тыс. м³/га вынесено 45—69% солей от исходного их содержания в почвогрунтах. Однако детально не выяснено, за счет какого типа дренажа (вертикального или временного горизонтального) достигнуто такое рассоление, так как эффект рассоления при различном соотношении глубины дрен и расстояния между дренами практически одинаков.

Таким образом, результаты промывок на фоне дренажа с применением временного позволяют сделать следующие основные выводы.

В период промывок временный дренаж отводит воду и соли значительно эффективнее, чем постоянный, причем эффективность мелкого временного дренажа (0,8—0,9 м) с расстояниями между дренами 20—25 м — больше, чем более глубокого (1,75 м) с междренья ми 50 м.

Таблица 52. **Основные элементы водного баланса на опытных участках при промывке засоленных земель,** $\frac{\text{тыс. м}^3/\text{га}}{\%}$

Участок	Расчетный период	Приход				Расход				
							дренажный сток			
		водоподача	осадки	подземный приток	итого	испарение	всего	по временным дренам	по постоянным дренам	итого
Колхоз им. Ильича	13/XI 1970 г.	16,3	2,6	1,2	20,1	2,0	17,7	11,6	6,1	19,7
	28/V 1971 г.	81,1	12,9	6,0	100,0	10,2	89,8	58,9	30,9	100,0
Колхоз „Победа"	14/X—21/XI 1966 г.	5,05	0,44	—	—	0,46	3,76	2,39	1,37	—
							100	63,5	36,5	
	14/IV—21/V 1967 г.	9,04	0,94	—	—	1,19	8,35	4,77	3,58	—
							100	57,1	42,9	
	24/V—9/VII 1967 г.	9,05	0,83	—	—	1,25	6,01	4,42	1,59	—
							100	73,5	26,5	
Колхоз „Коминтерн"	18/X—30/XII 1969 г.	7,70	0,94	2,76	11,47	0,74	6,32	3,62	2,70	7,06
		67,1	8,2	24,7	100	11,4	88,6	50,7	37,9	100
	18/X 1969—30/III 1970 г.	7,70	1,99	0,77	10,46	1,52	8,19	3,62	4,57	9,71
		73,6	19,0	7,4	100	15,6	84,4	37,3	47,1	100

Таблица 53. **Основные элементы солевого баланса на опытных участках при промывках засоленных земель, т/га**
%

Название участка	Период	Приход				Расход			По балансу	Фактические		
		$S_{вод}$	$S_{гипс}$	$S_{п}$	всего	$S_{др.вр}$	$S_{др.пост}$	всего		$S_{н}$	$S_{к}$	$\pm\Delta S$
Колхоз им. Ильича	13/XI 1970 г.	9,1	2,5	5,9*	17,5	33,3	30,5	63,8	—46,3	273,8	186,8	—87,0
	28/V 1971 г.	52,0	14,3	33,7	100	52,1	47,9	100,0				
Колхоз „Победа"	14/X—21/XI 1966 г.	1,3				14,3	6,3	20,6		115,8***	76,9	—38,9
						69,5	30,5	100		219,9	153,4	—66,5
	14/IV—21/V 1967 г.	2,3				24,7	12,1	36,8		76,9	77,9	+1,0
						67,2	32,8	100		153,4	173,7	+20,0
	24/V—9/VII 1967 г.	2,4				26,4	5,9	32,3		132,5	103,3	—29,2
						81,8	18,2	100		255,4	232,8	—22,6
Колхоз „Коминтерн"	18/X 1969 г.	2,2		1,60**	3,80	37,93	21,15	59,08	—55,28	229,50	197,40	—32,10
	30/III 1970 г.	57,9		42,1	100	64,2	35,8	100				

* За минерализацию подземного притока принята средняя минерализация дренажной воды по постоянным дренам до промывок.

** Постоянные дрены работали 197 сут, временные — 58 сут.

*** За минерализацию подземного притока принята средняя минерализация (по токсичным солям) по постоянным дренам до промывок. Запасы солей в числителе для слоя 0 — 100 см, в знаменателе для слоя 0—200 см.

Промывки более эффективны в осенний период, чем в весенний.

При промывках происходит качественное улучшение солей за счет более быстрого вымыва токсичных солей.

Временным дренажем соли выносятся за пределы промываемых массивов. При достаточных промывных нормах можно полностью рассолить почвогрунты и грунтовые воды, то есть достигнуть коренного рассоления почвогрунтов и грунтовых вод. Если в почвогрунтах содержится сода, без предварительного внесения гипса эффекта от промывок не достигается.

6. ОБОСНОВАНИЕ ПРОМЫВКИ ЗАСОЛЕННЫХ ЗЕМЕЛЬ

СУЩЕСТВУЮЩИЕ МЕТОДЫ И ЗАВИСИМОСТИ ДЛЯ УСТАНОВЛЕНИЯ ПРОМЫВНЫХ НОРМ

В настоящее время существуют разные способы промывок: по мелким и крупным чекам, по бороздам, полосам, с применением посевов затопляемого риса, метод боковых промывок, форсированные, с применением временного дренажа, полосовые и др. На размер промывной нормы оказывают влияние многие факторы: техника распределения промывной нормы, разовые промывные нормы, сроки промывок, подготовка полей под промывки (вспашка, боронование, малование).

Расчет промывных норм можно вести по эмпирическим формулам (Костяков, 1960; Ковда, 1946; Розов, 1956; Волобуев, 1948; Астапов, 1943; Черкасов, 1958; Рабочев, 1953; Нерозин, 1964; Панин, 1968; Легостаев, 1953; Калашников, 1965, и др.). Эти формулы основаны на установлении количества пресной воды, потребной для вытеснения солей из почвогрунтов при насыщении их до предельной полевой влагоемкости. Ниже приведены наиболее распространенные формулы.

Формула В. Р. Волобуева получена на основе исследований и литературных данных. В ней размер промывной нормы зависит от степени исходного и допустимого засоления, химического состава солей и механического состава почв

$$N = к \lg \left(\frac{S_1}{S_0} \right)^{\alpha}, \qquad (51)$$

где N — промывная норма, м³/га; α — параметр, связанный со способностью почв к солеотдаче; S_1 — исходное содержание солей в промываемой почве; S_0 — допустимое содержание солей в почве; к — коэффициент пропорциональности, при расчете норм в м³/га он равен 10 000.

Для случая $h>1$ м И. П. Айдаров рекомендует следующую формулу:

$$N_h = 10\,000 \left(\alpha \lg \frac{S_1}{S_h} + \frac{\alpha}{\mu} h \right), \qquad (52)$$

где N_h — промывная норма для рассоления слоя h, м³/га; S_1 — исходное содержание солей в метровом слое, %; S_h — допустимое содержание солей на глубине h, %; μ — коэффициент, учитывающий скорость отвода промывных вод; h — расчетная глубина опреснения почвогрунтов, м.

Формула П. С. Панина выведена на основе изучения солеотдачи почв

$$M_a = 2{,}3 к П \lg \frac{S_i}{S_0} \qquad (53)$$

где S_i — исходное засоление, т/га; S_0 — допустимое остаточное количество солей, т/га; П — полевая влагоемкость, м³/га; к — коэффициент, выражающий зависимость солеотдачи от химического состава солей; M_a — активная промывная норма, м³/га;

$$M_a = M - q_i - q_h,$$

где q_i — объем испарившейся воды с водной поверхности в период промывок, м³/га; q_h — объем воды, затраченный на насыщение промываемого слоя почвы до полевой влагоемкости, м³/га.

Исследования САНИИРИ (Якубов и др., 1971) позволили авторам выяснить возможность применения существующих эмпирических формул для определения промывных норм для почвогрунтов с плотными гипсированными прослойками. Все формулы по их физическому смыслу были разбиты на три группы.

К первой группе отнесены формулы, основанные на предпосылках так называемого поршневого вытеснения раствора солей из почвы пресной водой после перехода в раствор запаса солей опресняемого слоя почвогрунта в результате насыщения его до предельной полевой влагоемкости. К этим формулам относятся формулы Л. П. Розова, В. М. Легостаева, В. Р. Волобуева. Ко второй группе отнесена формула В. А. Ковды. К третьей группе отнесены формулы В. Р. Волобуева и П. С. Панина.

Расчет промывных норм для исследуемых участков, выполненный по формулам первой и второй групп, дал заниженные результаты, поэтому авторами были детально рассмотрены формулы третьей группы. В результате была предложена зависимость для определения пара-

метра α, полученная на основе применения метода наименьших квадратов

$$\alpha = \frac{\sum_{1}^{n} \lg \frac{S_0}{S_к} N_i}{10\,000 \sum_{1}^{n} \left(\lg \frac{S_0}{S_к} \right)^2}, \qquad (54)$$

где α — коэффициент солеотдачи; S_0, $S_к$ — начальное и допустимое засоление по плотному остатку или хлору, %; N — промывная норма, м³/га; n — число промывок.

Относительная ошибка вычисленных промывных норм по формуле В. Р. Волобуева с указанными значениями α составила 18—24%. Формулу П. С. Панина можно представить в виде

$$M_h = \bar{\alpha} \lg \frac{S_i}{S_0}, \quad \text{где } \bar{\alpha} = \frac{\text{Пк} \cdot 2{,}3}{10\,000}, \qquad (55)$$

где M_h — промывная норма в метрах слоя воды.

Методом наименьших квадратов получено

$$\alpha = \frac{\sum_{j=1}^{n} M_h^j \lg \frac{S^j_i}{S^j_0}}{\sum_{j=1}^{n} \left(\lg \frac{S^j_i}{S^j_0} \right)^2}. \qquad (56)$$

Результаты опытов показали, что отклонения расчетных промывных норм (по ион-хлору и плотному остатку) от фактических составили для тяжелых и средних суглинистых почв 23—25%, для легкосуглинистых почв и супесей —29%. Причем такая точность установлена при исходном засолении в интервале 1,5—2,5%, конечном не ниже 1,3% (по ион-хлору исходное засоление не ниже 0,009%, конечное не ниже 0,005%). Интервал водоподачи 5—33 тыс. м³/га. За пределами указанных интервалов точность формулы уменьшается.

Используя метод наименьших квадратов, авторы (Якубов и др., 1971) получили зависимости для нахождения из опытных данных параметров α и μ к формуле В. Р. Волобуева для определения промывной нормы, необходимой для рассоления толщи более 1 м.

На основе решения уравнения конвективной диффузии с использованием законов физико-химической гидродинамики С. Ф. Аверьянов (1967) вывел теоретичес-

кую формулу для расчета промывной нормы (нетто) для рассоления заданного слоя почвогрунтов до допустимых пределов. Им установлено, что для опреснения расчетного слоя почвогрунтов до заданного уровня необходимо подать воды больше, чем это требуется для одноразовой смены почвенного раствора. Эта формула, несмотря на то, что получена при ряде допущений, учитывает основные факторы, влияющие на процесс передвижения солей и влаги в почвогрунтах.

Здесь учитываются не только водно-физические свойства почвогрунтов, содержание и состав солей в почвогрунтах (диффузия, обмен), но и такие важные факторы, как продолжительность промывок и скорость фильтрации, позволяющие учесть влияние параметров дренажа на эффективность промывок, так как промывная норма зависит при прочих равных условиях от скорости отвода промывных вод и продолжительности промывок.

При равномерном исходном засолении формула для определения промывной нормы имеет вид

$$N_h = (2A\sqrt{D^* t} + x)\, m, \qquad (57)$$

где N_h — промывная норма, м; $N_h = vt$, здесь v — скорость фильтрации, обеспечиваемая дренажем на междренье, м/сут; x — расчетная глубина опреснения, м; t — время проведения промывки, равное $\frac{N_h}{v}$, сут; m — пористость, или объемная влажность в долях от объема. Значение A определяется в зависимости от $\bar{c}$

$$\bar{c} = \frac{c - c_п}{c_0 - c_п},$$

где c_0 — исходное содержание солей, выраженное через концентрацию легкорастворимых солей при полном насыщении почвогрунтов, г/л; c — требуемое (допустимое) содержание солей, г/л; $c_п$ — минерализация промывных вод, г/л.

Формула (57) справедлива, когда

$$\Lambda = \frac{N_h}{2m\sqrt{D^* t}} \geqslant 1.$$

Когда $A < 1$, а также при неравномерной начальной эпюре засоления в зависимости от вида профиля начального засоления рекомендуются формулы Аверьянова. Параметр D^*, входящий в формулу (57), может быть непосредственно определен из этой формулы на ос-

новании исследований в полевых условиях. Выражение для его определения имеет вид

$$D^* = \frac{\left(\frac{N_h}{m} - x\right)^2}{4A^2t}. \qquad (58)$$

В случае неполного опреснения почвогрунтов при промывках, когда $A<1$, промывная норма определяется по формуле

$$N = S\,xm, \qquad (59)$$

где x — расчетная глубина опреснения, м; m — пористость почвогрунтов, в долях от объема; S — безразмерный параметр, равный

$$S = \frac{vt}{xm}. \qquad (60)$$

Этот параметр может быть определен из графика $c = f(P_c, S)$ Г. П. Шапинской.

НЕКОТОРЫЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ, СВЯЗАННЫЕ С ПРОМЫВКОЙ ЗАСОЛЕННЫХ ЗЕМЕЛЬ

О соотношении между общей суммой и суммой токсичных солей. Б. К. Харитонов (1976), проведя исследования на ряде опытных участков Чуйской долины (колхозы «Победа», «Коминтерн», им. Ильича), показал, что в метровом слое почвогрунтов одинаковому содержанию токсичных солей соответствуют одинаковые плотные остатки (суммы солей). Так, выполненная им статистическая обработка материалов по установлению связи между плотным остатком (суммой солей) и суммой токсичных солей показала, например, что сумме токсичных солей 0,3% (допустимый предел обессоливания) соответствует плотный остаток 0,65 (участок в колхозе им. Ильича), 0,76—0,80 (участок в колхозе «Победа»), 1,28 (участок в колхозе «Коминтерн»). Связь установлена при коэффициентах корреляции 0,80—0,96.

Выявленные значительные различия в указанных зависимостях связаны с неодинаковым количеством гипса, переходящим в водную вытяжку (табл. 54).

Им же отмечается, что на переход гипса в водную вытяжку в условиях Чуйской долины не влияет присутствие соли NaCl, так как количество последней значи-

Таблица 54. **Влияние промывок на рассоление метрового слоя почвогрунтов** (% на 100 г почвы)

Участок промывки в колхозах	Сумма солей			
	всего	в том числе		
		токсичных	нейтральных	
			всего	в том числе гипс
„Победа":				
северная часть поля	0,949*	0,470	0,479	0,430
	0,534	0,126	0,408	0,337
южная часть поля	0,890	0,435	0,455	0,390
	0,623	0,184	0,434	0,365
Им. Ильича, поле 9	0,839	0,456	0,383	0,346
	0,477	0,174	0,303	0,266
„Коминтерн"	1,683	0,852	0,831	0,775
	1,115	0,252	0,863	0,835

* Числитель до промывки, знаменатель — после промывки.

Таблица 55. **Изменение солевого состава в метровом слое почвогрунтов после подачи различных промывных норм** (% на 100 г почвы)

Показатели	Промывная норма, тыс. м³/га							
	Колхоз „Победа"					Колхоз „Коминтерн"		
	северная часть			южная часть				
	до промывки	5	14,1	до промывки	9	до промывки	7	9,1
Сумма солей	0,949	0,526	0,534	0,890	0,623	1,683	1,294	1,115
в том числе токсичные	0,470	0,617	0,126	0,435	0,189	0,852	0,304	0,252
нейтральные	0,479	0,359	0,408	0,455	0,434	0,831	0,910	0,863
в том числе $CaSO_4$	0,430	0,312	0,337	0,390	0,365	0,775	0,834	0,835
Соотношение токсичных и нейтральных солей в общей сумме солей	1 : 1	1 : 2,1	1 : 3,2	1 : 1	1 : 2,3	1 : 1	1 : 1,7	1 : 3,4

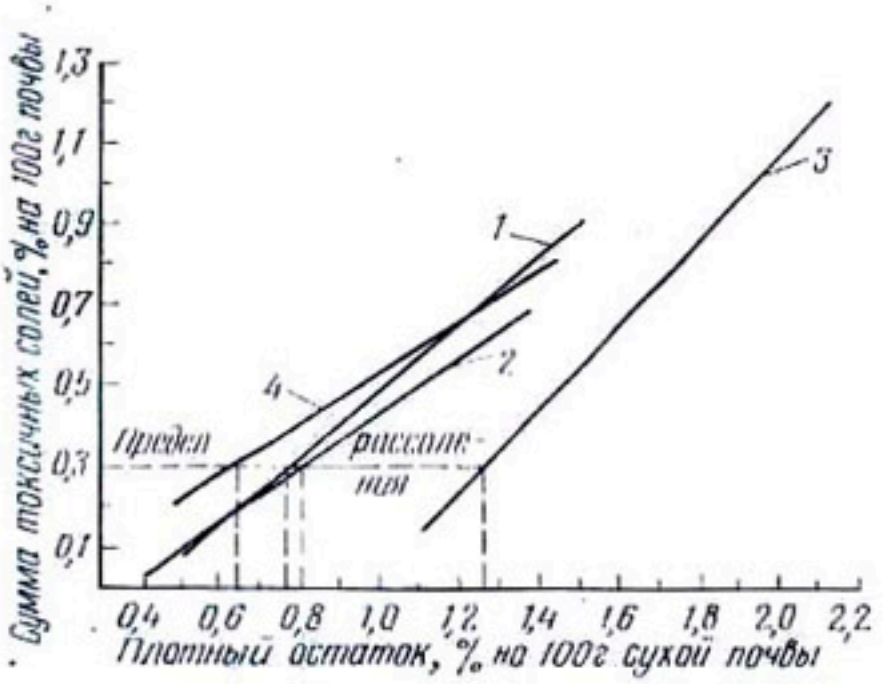


Рис. 35. Связь плотного остатка с суммой токсичных солей в метровом слое сероземно-луговых почв сульфатного типа засоления по анионам и катионам:

1, 2 — смешанного (натриево-кальциевого, кальциево-натриевого и магниево-кальциевого); *3* — натриево-кальциевого; *4* — смешанного (натриево-кальциевого, кальциево-натриевого).

тельно меньше 1,25% на 100 г почвы, а, очевидно, влияет присутствие сульфатов Na и Mg и количественное распределение валового гипса по площади и в профиле почвогрунтов. Приведены данные, показывающие, что в период промывок токсичные соли подвергаются более значительному вымыву. Это приводит к нарушению соотношений между нейтральными и токсичными солями (табл. 55).

До промывки соотношение токсичных и нейтральных солей примерно одинаковое (1 : 1). После промывки по мере увеличения промывной нормы это соотношение нарушается в сторону увеличения количества нейтральных солей (1 : 3,2; 1 : 2,3; 1 : 3,4), что обусловливает варьирование допустимого засоления по плотному остатку (рис. 35).

Токсичные соли в почвогрунтах сульфатного типа засоления северо-западной части Чуйской долины в основном представлены солями $MgSO_4$, Na_2SO_4 и NaCl (табл. 56).

В связи с тем, что токсичные соли на 96—98% представлены сульфатами Mg и Na, Б. К. Харитоновым была выполнена статистическая обработка материалов исследований по выявлению связи между суммой ток-

Таблица 56. **Состав токсичных солей в метровом слое почвогрунтов**

Участок промывки	Всего массы сухой почвы	Токсичные соли		
		в том числе относительное содержание, %		
		$MgSO_4$	Na_2SO_4	NaCl
Колхоз „Победа":				
северная часть поля	0,470	34,0	62,4	3,6
южная часть поля	0,435	32,2	65,0	2,8
Колхоз „Коминтерн"	0,852	35,1	61,8	3,1

сичных солей (%) в водной вытяжке и катионами Mg^{++} и $Na^{+}+K^{+}$ (рис. 36). В результате установлена прямая связь с коэффициентом корреляции, близким к 1.

Уравнение этой связи совпадает с уравнением, рекомендованным Н. И. Базилевич и Е. И. Панковой (1968) для приближенного подсчета количества токсичных солей в водной вытяжке любого типа засоления почвогрунтов.

О зависимости между минерализацией воды во временных дренах и засолением почвогрунтов. Исследования показали, что минерализация дренажной воды, отводимой мелкими временными дренами в период про-

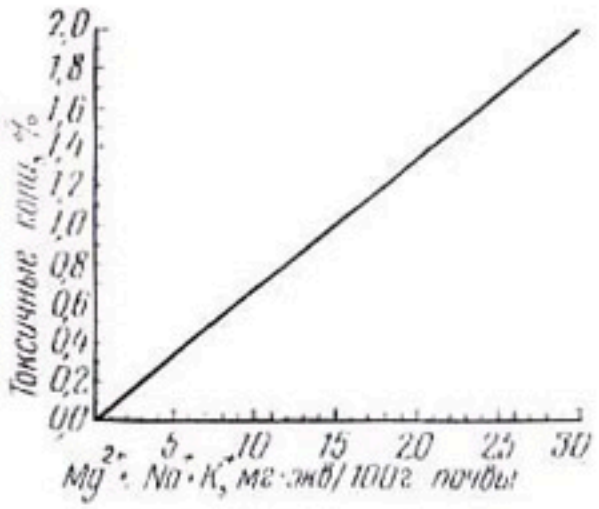


Рис. 36. Соотношение между суммой токсичных солей (%) и содержанием суммы катионов $Mg+\Sigma Na+K$ в водных вытяжках почв сульфатного типа засоления в Чуйской долине.

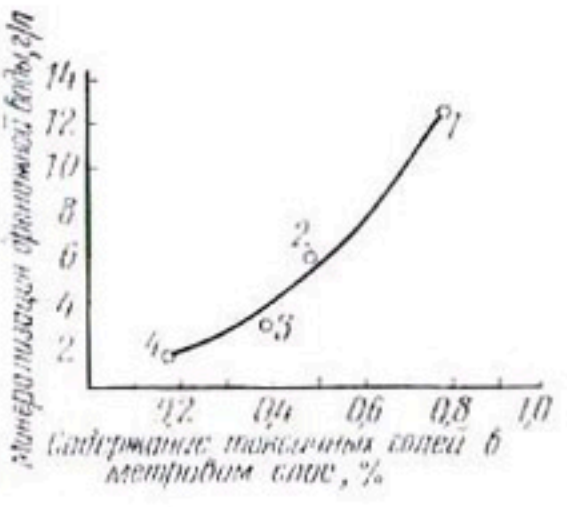


Рис. 37. Зависимость минерализации дренажных вод от исходного засоления метрового слоя почвогрунтов (средние данные по участкам):

1 — в колхозе «Коминтерн»; *2* — в колхозе «Победа»; *3*, *4* — в колхозе им. Ильича.

мывок, отличалась даже после одной промывной нормы. Дренажный сток и его минерализация зависят от многих факторов: типа, степени и пестроты засоления почвогрунтов, минерализации верхнего слоя грунтовых вод, интенсивности подачи воды на промывку, водно-физических свойств и механического состава почвогрунтов, наличия маловодопроницаемых прослоек (гипс, луговая известь) и т. д.

Обработка материалов исследований по промывкам засоленных земель на трех опытных участках, выполненная Б. К. Харитоновым, показала, что при рассолении верхнего метрового слоя почвогрунтов сульфатного типа засоления до содержания токсичных солей 0,3% основное влияние на степень минерализации дренажной воды во временных дренах оказывает исходное засоление почвогрунтов.

Чем выше исходное засоление почвогрунтов, тем выше минерализация воды, отводимой мелкими (0,8—1,0 м) временными дренами (рис. 37). Это дало возможность построить номограммы для расчета промывных норм на 1 м рассоляемого слоя с учетом выноса солей дренажем за пределы промываемых массивов. Временный дренаж, выполненный с соблюдением необходимого (отвод потребного количества воды за расчетный период) и достаточного (отвод солей со всего междренья) условий, будет отводить соли из расчетного слоя почвогрунтов, и вышеуказанная зависимость будет соблюдаться.

Количество отведенной воды и солей по временному дренажу, запроектированному и выполненному с учетом только необходимого условия, без выполнения достаточного, не будет являться показателем рассоления почвогрунтов, так как в дрены вода поступает в основном снизу неширокой полосой и при наличии в нижележащих горизонтах неминерализованных или менее минерализованных грунтовых вод. Минерализация дренажных вод будет всегда меньше грунтовых, что отмечается при постоянном горизонтальном дренаже, выполненном с большими междренъями.

О зависимости между показателями солеотдачи и скоростью фильтрации промывной воды. Известно, что на эффективность промывки засоленных земель влияет определенным образом скорость фильтрации промывной воды. С этой целью по данным опытных промывок

(Чуйская долина) Л. К. Госсу (1978) получена взаимосвязь между показателями солеотдачи α к формуле В. Р. Волобуева и расчетной скоростью фильтрации за счет работы временного и постоянного дренажа. Однако, как показали исследования, расчетная скорость фильтрации ниже фактической, так как на скорость фильтрации влияет не только дренаж, но и ряд других факторов, таких как глубина залегания грунтовых вод (свободная пористость ниже расчетного промываемого слоя) на промываемой площади, глубина залегания и высота подъема уровня грунтовых вод на соседних площадях, размеры этих площадей, зависящие от размеров промываемой площади, испарение грунтовых вод на соседних площадях и т. п., в связи с чем автором (Методические рекомендации, 1976) предложена соответствующая методика определения скорости фильтрации*.

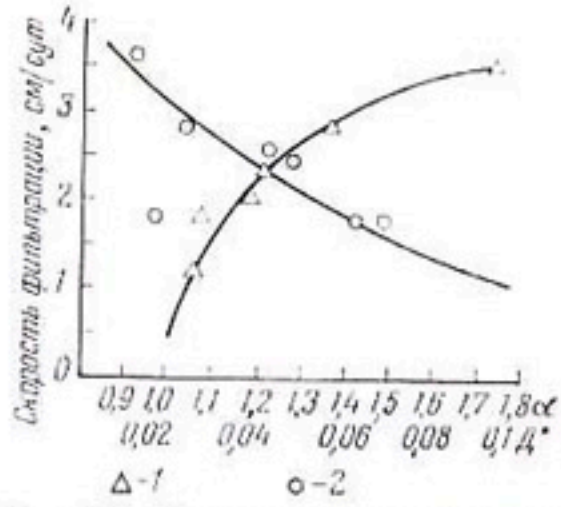


Рис. 38. Зависимость показателя солеотдачи α и коэффициента конвективной диффузии D^* от скорости фильтрации:
1 — значение D^*; *2* — значение α.

Проведенные расчеты показателя солеотдачи α к формуле В. Р. Волобуева (табл. 57, рис. 38) показали, что он зависит от скорости фильтрации. При фактических скоростях фильтрации 1,8—3,6 см/сут значения α изменяются от 0,93 до 1,49.

Коэффициент конвективной диффузии D^* при расчетных и фактических скоростях фильтрации изменяется в больших пределах, от 0,00056 до 0,0905. На участках в колхозе «Победа» и совхозе «Чалдовар» наблюдается определенная зависимость коэффициента D^* от скорости фильтрации (табл. 58, рис. 38), по данным в колхозах «Коминтерн» и им. Ильича такой зависимости не наблюдается. Поэтому необходимо дальнейшее тщательное исследование коэффициента конвективной диффузии и его зависимости от скорости фильтрации.

---

* Скорость фильтрации установлена по максимальной водоподаче за соответствующий период времени.

Таблица 57. **Значения показателя солеотдачи α в формуле В. П. Волобуева**

Участок	Поливная норма $\frac{N_{max}}{N_{сред}}$	Период промывки	Скорость фильтрации, см/сут		Засоление по сумме токсичных солей		$\frac{S_н}{S_к}$	α
			расчетная	фактическая	до промывки	после промывки		
Колхоз „Победа" северная часть	$\frac{0,94}{0,372}$	33 сут., с 14/X по 16/XI	2,09	2,85	0,370	0,152	2,43	1,04
южная часть	$\frac{1,25}{0,436}$	49 сут., с 19/V по 7/VII	1,82	2,55	0,519	0,236	2,20	1,28
Колхоз „Коминтерн" IV ряд чеков	$\frac{1,15}{0,444}$	63 сут., с 17/X по 19/XII	1,1	1,8	0,829	0,402	2,06	1,42
XI ряд чеков	$\frac{—}{0,434}$	63 сут.	1,1	1,8	0,736	0,377	1,96	1,49
XIX ряд чеков	$\frac{—}{0,463}$	63 сут.	1,1	1,8	0,998	0,366	2,97	0,98
Колхоз им. Ильича	$\frac{1,63}{0,515}$	58 сут., с 1/IV по 28/V	1,97	2,6	0,831	0,313	2,66	1,22
Совхоз „Чалдовар"	$\frac{1,08}{0,355}$	30 сут., с 28/X по 27/XI	1,18	3,6	0,629	0,260	2,42	0,93

РАСЧЕТ ПРОМЫВНЫХ НОРМ

При рассолении земель необходимо определить степень и характер рассоления (до какого предела, на какую глубину, каким способом, направление перемещения солей и т. п.). Степень рассоления земель зависит от типа засоления, в случае отсутствия экспериментальных данных определяется по справочной литературе.

Есть два способа рассоления: коренное (вынос солей за пределы массива); обычное (удаление солей из намеченного слоя почвогрунтов независимо от направления перемещения солей).

Эти две задачи различны и решаются они различными путями. Решение более легкой задачи — удаление солей не за пределы массива может быть осуществлено любым из доступных и известных в практике способов, удаление солей за пределы массива (коренное рассоление) может быть осуществлено лишь наиболее эффективными способами, к числу которых относится промывка засоленных земель с применением мелкого, частого временного горизонтального дренажа.

В Чуйской долине были испытаны следующие способы рассоления засоленных земель:

промывка на фоне постоянного горизонтального дренажа по чекам, полосам, с применением посевов затопляемого риса (для решения более легкой задачи);

промывка на фоне горизонтального и вертикального дренажа с применением временного дренажа.

Для этих способов рассоления в методических рекомендациях (1976) приведены расчетные зависимости для определения промывных норм только на фоне постоянного дренажа и с применением временного дренанажа, без учета и с учетом выноса солей за пределы промываемых массивов, а также для определения параметров временного дренажа.

Инструкцией (1975) для расчета промывных норм рекомендованы формулы С. Ф. Аверьянова и В. Р. Волобуева.

Анализ этих формул показывает следующее. Зависимости промывной нормы от исходного засоления имеют вид кривых, характер кривизны которых зависит от исходного и допустимого засоления, то есть чем больше

исходное засоление, тем меньше затрачивается воды на единицу вымытых солей, а количество затрачиваемой воды на эту же единицу при одном и том же засолении зависит от типа засоления и от характера сложения почвогрунтов (легкие, средние, тяжелые), иными словами, от коэффициента фильтрации или же скорости фильтрации промывной воды. Так, для почв сульфатного типа засоления в зависимости от характера сложения почвогрунтов показатель солеотдачи α в формуле В. Р. Волобуева изменяется от 1,18 до 3,30.

Не отрицая достоинств этих формул и рекомендованных методов расчета промывных норм, следует отметить некоторые их недостатки. Формула В. Р. Волобуева в явной форме не учитывает скорости фильтрации; формула С. Ф. Аверьянова учитывает скорость фильтрации, однако недостатком этой формулы является неясность определения коэффициента конвективной диффузии, зависящего от скорости фильтрации и сам метод определения промывной нормы несколько неудачен, так как сначала рекомендуется определять коэффициент конвективной диффузии, затем промывную норму, а по промывной норме параметры временного дренажа. В результате создаются иные условия промывки со скоростью фильтрации, отличной от скорости фильтрации в условиях опыта по определению коэффициента конвективной диффузии.

Скорость отвода промывной воды из расчетного слоя рекомендуется определять только по наличию дренажа (постоянного и временного). Расчет временного дренажа инструкцией (1975) рекомендуется проводить, исходя из потребной скорости отвода воды. Это условие необходимое, но в условиях напорного питания грунтовых вод недостаточное, так как вода в дренаж поступает снизу неширокой полосой, особенно это необходимо учитывать при коренных промывках засоленных земель, так как соли в дренаж будут поступать не из междренья, а снизу из неминерализованных напорных вод.

Автором предложены несколько отличные зависимости и методы определения промывных норм и факторов, определяющих эффективность промывок засоленных земель. Так, авторы (Попова, Пачепский, 1972) рассмотрели математическую модель схемы рассоления земель при промывках.

Таблица 58. **Коэффициент конвективной диффузии D^* к формуле С. Ф. Аверьянова**

Участок	Промывная норма N, м	Засоление по сумме токсичных солей, %		Скорость фильтрации v, см/сут		Продолжительность промывки, сут		Пористость, m	A	D^*	
		до промывки	после промывки	расчетная	фактическая	при v расчетной	при v фактической			при v расчетной	при v фактической
Колхоз „Победа“:											
северная часть	0,372	0,370	0,152	2,09	2,85	18	13	0,507	0,16	0,038	0,053
южная часть	0,436	0,519	0,236	1,82	2,55	24	17	0,507	0,08	0,028	0,042
Колхоз „Коминтерн“:											
IV ряд чеков	0,444	0,829	0,402	1,1	1,8	40	25	0,496	0	—	—
XI ряд „	0,434	0,736	0,377	1,1	1,8	40	24	0,496	0	—	—
XIX ряд „	0,463	0,998	0,366	1,1	1,8	42	26	0,496	0,25	0,00056	0,0009
Колхоз им. Ильича	0,515	0,831	0,313	1,97	2,6	26	20	0,443	0,22	0,0053	0,0066
Совхоз „Чалдовар“	0,355	0,629	0,260	1,18	3,6	30	9	0,50	0,16	0,0272	0,0905

Исходное уравнение представлено в следующем виде:

$$-\mathrm{d}x=\frac{x\cdot q\cdot \mathrm{d}t}{W+(m-q)t}, \qquad (61)$$

где x — количество легкорастворимых солей в расчетном слое почвогрунтов в различное время; W — предельная полевая влагоемкость; m — количество поступающей воды в расчетный слой почвогрунта; q — количество оттекающей воды из расчетного слоя почвогрунта; $-\mathrm{d}x$ — убыль солей за время $\mathrm{d}t$.

Автором (Дуюнов, 1976) было отмечено, что в этом уравнении допущены две неточности, поэтому приведено исходное уравнение в следующем виде:

$$-\mathrm{d}x=\frac{a\left(\frac{S}{x}\right)^{n}x\cdot q\cdot \mathrm{d}t}{W+qt}. \qquad (62)$$

Здесь в числителе введен показатель солеотдачи в виде функции $\alpha=a\left(\frac{S}{x}\right)^{n}$, в знаменателе вместо $(m-q)t$ приведено qt.

Вид функции показателя солеотдачи принят таким исходя из следующих соображений: параметром n учитывается комплекс действующих факторов, отражающихся на характере кривых зависимости промывной нормы от исходного и допустимого засоления, параметром a учитывается скорость фильтрации промывной воды.

В результате решения исходного уравнения (62) получено:

$$N=W\left[\mathrm{e}^{\frac{1-\left(\frac{S_0}{S_1}\right)^{n}}{an}}-1\right], \qquad (63)$$

где N — промывная норма; W — предельная полевая влагоемкость; S_1 и S_0 — исходное и допустимое содержание солей.

Анализ уравнения (62) показал, что учет одной из неточностей в уравнении (61) проведен автором неверно, так как концентрация солей в различные моменты времени определяется, как доля от текущего

наличия солей x, поделенная на количество прошедшей через расчетный слой воды, то есть числитель уравнения (62) уменьшается, а знаменатель увеличивается.

Однако в связи с тем, что в числитель исходного уравнения был введен показатель α, то полученное решение (63) при определении параметров a и n в полевых условиях дает верные результаты, хотя при этом показатель α может принимать значения больше единицы, в то время как по замыслу это — доля от количества солей, находящихся в почве, и должна быть всегда меньше единицы.

Ошибка устраняется, если в уравнение (62) вместо текущего засоления x подставить исходное засоление S, тогда с увеличением количества подаваемой воды будет увеличиваться доля вынесенных солей, и решение нового уравнения будет отличаться тем, что вместо параметра n будет $n+1$, то есть

$$N = W\left[e^{\frac{1-\left(\frac{S_0}{S_1}\right)^{n+1}}{a(n+1)}} - 1\right], \tag{64}$$

Параметры a и n находятся опытным путем при полевых исследованиях. Если параметры a и n ориентировочно (с ошибкой 10—20%) выразить через скорость фильтрации промывной воды, то уравнение (64) примет вид

$$N = W[e^y - 1], \tag{65}$$

где

$$y = \ln\left[1 + \frac{0{,}136\left(1 - \sqrt{\frac{S_0}{S_1}}\right)}{v + 0{,}006}\right],$$

v — скорость фильтрации, м/сут.

С целью уменьшения трудоемкости вычисления промывной нормы нами выполнено следующее. Принимая в уравнении (61) $m = q$ (количество притекающей воды в расчетный слой почвогрунта после заполнения этого слоя до предельной полевой влагоемкости при непрерывных промывках равно количеству оттекающей во-

ды) и введя в числитель показатель солеотдачи в виде функции

$$\alpha = a\left(\frac{S}{x}\right)^n$$

где x — общее количество солей в расчетном слое,

получим исходное уравнение в виде

$$-\mathrm{d}x = \frac{a\left(\frac{S}{x}\right)^n \cdot x \cdot q \cdot \mathrm{d}t}{W}. \qquad (66)$$

Решая его, получим

$$N = W\,\frac{1-\left(\frac{S_0}{S_1}\right)^n}{an}, \qquad (67)$$

где N — промывная норма; W — предельная полевая влагоемкость*; S_1 и S_0 — исходное и допустимое содержание солей; a и n — параметры.

Параметры a и n находятся опытным путем. Ориентировочно (с ошибкой 10—20%) они могут быть выражены в виде аналитических зависимостей. Так, при $n=0{,}5$

$$a = \frac{v+0{,}006}{0{,}068},$$

где v — скорость фильтрации, м/сут.

Подставляя значения a и n в формулу (67), находим

$$N = W\left[\frac{0{,}136\left(1-\sqrt{\frac{S_0}{S_1}}\right)}{v+0{,}006}\right]. \qquad (68)$$

Расчеты по уравнению (68) дают аналогичные результаты (табл. 59) с расчетами по уравнениям (65) и (63) с определением параметров a и n по рис. 2.8 в Методических рекомендациях (1976).

При прерывистых промывках в промежутках между разовыми промывными нормами поступившая вода

---

* При непрерывных промывках, когда уровень грунтовых вод поднят до поверхности земли, W означает полную влагоемкость.

расходуется на испарение, запасы влаги уменьшаются, концентрация солей увеличивается и следующая разовая норма выносит большее количество солей.

Принимая в исходном уравнении (61) $m-q=u$ (где u — испарение и отток в единицу времени), ведя W' (максимальный запас влаги в расчетном слое) вместо W и меняя в знаменателе знак на обратный, получим уравнение

$$-\mathrm{d}x=\frac{a'\left(\frac{S}{x}\right)^{n'}x\cdot q\cdot \mathrm{d}t}{W'-Ut}. \qquad (69)$$

Решая его, находим

$$N=\frac{-U\left[1-\left(\frac{S_0}{S_1}\right)^{n'}\right]}{a'n'\ln\left(1-\frac{U}{W'}\right)}. \qquad (70)$$

где N — промывная норма; u — суммарное испарение и отток из расчетного слоя почвогрунта между подачами разовых норм; W — предельная полевая влагоемкость; $W'=W+\beta\sigma$ — максимальный запас влаги в расчетном слое; σ — водоотдача; β — коэффициент, $0\leqslant\beta\leqslant1$; a' и n' — параметры солеотдачи; S_0 и S_1 — допустимое и исходное содержание солей.

При глубоком залегании грунтовых вод, когда при промывках или после подачи разовой нормы уровень грунтовых вод не поднимается к расчетному слою (в основном при промывках автоморфных почв), $\beta=0$, $W'=W$. При близком залегании грунтовых вод, когда при подаче разовых норм уровень грунтовых вод поднимается к поверхности, $\beta=1$, $W=W_{\text{полн}}$; когда кривая депрессии располагается в расчетном слое, $0\leqslant\beta\leqslant1$, $W\leqslant W'\leqslant W_{\text{полн}}$. В среднем без больших погрешностей для этого случая можно принять $\beta=0{,}5$, $W'=W+0{,}5\sigma$.

Принимая в первом приближении значения a' и n' такие же, как и при непрерывных промывках, получим

$$N=\frac{-U\left[0{,}136\left(1-\sqrt{\frac{S_0}{S_1}}\right)\right]}{(\sigma+0{,}006)\ln\left(1-\frac{U}{W'}\right)}. \qquad (71)$$

Таблица 59. **Расчетные промывные нормы (м³/га) по различным формулам при $S_0=0{,}3$ и $S_1=1{,}0\%$**

Скорость фильтрации, м/сут	Номер формулы		
	65	68	63 (из рекомендаций)
0,01	13250/100%	13685/104%	13510/102%
0,02	7950/100%	8435/106%	8470/107%
0,03	5950/100%	6090/102%	6120/103%

К достоинствам полученных формул для расчета промывных норм при непрерывных и прерывистых промывках относятся:

возможность учета изменения солесодержания при промывках и по токсичным солям, и по общей сумме солей, так как параметры a и n зависят от отношения $\frac{S_0}{S_1}$;

возможность учета скорости фильтрации промывной воды, так как параметры a и n зависят от скорости фильтрации;

при соответствующих параметрах a и n (рекомендуется определять их в полевых условиях) значения промывных норм и закономерность их изменения в зависимости от исходного и текущего засоления довольно близки к значениям, получаемым по формулам С. Ф. Аверьянова и В. Р. Волобуева (табл. 59).

Промывные нормы, определенные разными формулами по фактическим скоростям фильтрации, имеют меньшие отклонения от фактических промывных норм, чем нормы, определенные по расчетным скоростям фильтрации промывной воды.

Отклонения расчетных промывных норм от фактических составляют:

по формуле В. Р. Волобуева при расчете по фактическим скоростям фильтрации — не более 10—12% (исключение составляет XIX ряд чеков в колхозе «Коминтерн», где отклонение достигает 32%), при расчете по расчетным скоростям — до 46%;

по формуле (62) для непрерывных промывок при расчете по фактическим скоростям фильтрации — не

более 13% (по XIX ряду чеков 31%), при расчетных скоростях фильтрации — до 57%;

по формуле для прерывистых промывок при суммарном испарении и оттоке в межполивные периоды 1000 м³/га при расчете по фактическим скоростям фильтрации — не превышает 26%.

В связи с тем, что получается значительная разница в определении промывных норм по расчетным и фактическим скоростям фильтрации, последние рекомендуется определять по выражению (Методические рекомендации, 1976)

$$v = \frac{Q_c}{T}, \qquad (72)$$

где Q_c — количество прошедшей воды через расчетный слой (промывная норма нетто), $Q_c = Q_п + Q_{пс}\ K_{у.п.п} + Q_{пс}\ K_{у.п.п} + Q_д$, здесь $Q_п$ — объем воды для заполнения свободных пор почвогрунтов ниже расчетного слоя; $Q_{пс}$ — объем воды для заполнения свободных пор почвогрунтов при подъеме грунтовых вод на соседних территориях (рис. 39); $Q_{пс}$ — объем воды, идущей на испарение с прилегающих территорий за счет подъема грунтовых вод; $Q_д$ — объем воды, отведенной дренажем; T — период промывок, сут; $K_{у.п.п}$ — коэффициент, учитывающий условную потерю площади (получил такое название потому, что за счет рассоления земель на промываемой площади возможно дополнительное засоление прилегающих земель).

Сравнение промывных норм, рассчитанных по формулам (68), (71) для непрерывных и прерывистых промывок с промывными нормами, рассчитанными по формуле В. Р. Волобуева при скоростях фильтрации 0,01—0,03 м/сут (табл. 61), показывает следующее:

по любым формулам промывные нормы увеличиваются с уменьшением скоростей фильтрации, особенно при низких скоростях фильтрации и бóльшем исходном засолении;

по формуле для прерывистых промывок промывные нормы получаются ниже, чем рассчитанные по формуле для непрерывных промывок, особенно при увеличении испарения в межполивные периоды;

по формуле (68) для непрерывных промывок отклонения промывных норм от рассчитанных по формуле В. Р. Волобуева не превышают 25%;

по формуле (71) для прерывистых промывок отклонение промывных норм от полученных по формуле

Таблица 60. Сравнительная таблица фактических промывных

Участок	Промывная норма, м	Засоление по сумме токсичных солей, %		Скорость фильтрации v, см/сут	
		до промывки	после промывки	расчетная	фактическая
Колхоз „Победа":					
северная часть	0,372	0,370	0,152	2,09	2,85
южная часть	0,436	0,519	0,236	1,82	2,55
Колхоз „Коминтерн":					
IV ряд чеков	0,444	0,829	0,402	1,1	1,8
XI ряд чеков	0,434	0,736	0,377	1,1	1,8
XIX ряд чеков	0,463	0,998	0,366	1,1	1,8
Колхоз им. Ильича	0,515	0,831	0,313	1,97	2,6
Совхоз „Чалдовар"	0,355	0,629	0,260	1,18	3,6

В. Р. Волобуева следующее:

при испарении 150 м³/га оно не превышает 24% (при таком незначительном испарении данные почти не отличаются от данных при непрерывных промывках);

при испарении $U=500$ м³/га отклонение достигает 35%, при $U=1000$ м³/га — до 49% и при $U=2000$ м³/га — до 100%.

Таким образом, сравнение промывных норм, рассчитанных по различным формулам с фактическими, показывает приемлемость этих формул. При увеличении скорости фильтрации и испарения промывные нормы уменьшаются.

По данным В. М. Легостаева, в перерыве между подачей поливных норм в одни сутки промывная норма составила 17 тыс. м³/га, в четверо суток — 13,8 тыс. м³/га, в 8 суток — 11,0 тыс. м³/га, в 12 суток — 10,8 тыс. м³/га.

При промывках засоленных земель в осенний период и между подачей поливных норм до 8 суток испарение и отток может доходить до 400—500 м³/га при одном перерыве. Поэтому принятое испарение грунтовых вод в межполивные периоды 1000 м³/га приближается к реальному.

норм и вычисленных по формулам

По формуле В. Р. Волобуева				По формуле (68) при непрерывных промывках				По формуле (71) при прерывистых промывках при U=1000 м³/га			
N при $v_{расч}$ ($N_{v\,р}$)	$\frac{N_{\Phi}}{N_{vр}}$	N при $v_{факт}$ ($N_{v\,\Phi}$)	$\frac{N_{\Phi}}{N_{v\Phi}}$	N при $v_{расч}$ ($N_{vр}$)	$\frac{N_{\Phi}}{N_{v\,р}}$	N при $v_{факт}$ ($N_{v\,\Phi}$)	$\frac{N_{\Phi}}{N_{v\,\Phi}}$	N при $v_{расч}$ ($N_{v\,р}$)	$\frac{N_{\Phi}}{N_{v\,р}}$	N при $v_{факт}$ ($N_{v\,\Phi}$)	$\frac{N_{\Phi}}{N_{v\,\Phi}}$
0,512	0,73	0,422	0,88	0,540	0,69	0,425	0,88	—	—	0,348	1,07
0,493	0,89	0,405	1,08	0,550	0,80	0,422	1,03	—	—	0,346	1,26
0,559	0,79	0,455	0,98	0,775	0,57	0,514	0,87	—	—	0,423	1,05
0,520	0,84	0,423	1,02	0,720	0,60	0,480	0,91	—	—	0,395	1,10
0,840	0,55	0,685	0,68	1,01	0,46	0,670	0,69	—	—	0,550	0,85
0,585	0,88	0,486	1,06	0,612	0,84	0,456	1,13	—	—	0,407	1,26
0,655	0,54	0,342	1,03	0,818	0,43	0,346	1,03	—	—	0,327	1,12

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРЕДЛАГАЕМЫХ МЕТОДОВ ДЛЯ РАСЧЕТА ПРОМЫВНЫХ НОРМ ПРИ ДРУГИХ СПОСОБАХ РАССОЛЕНИЯ ЗЕМЕЛЬ

Промывка минерализованной водой. При таких промывках изменится солеотдача почв, то есть параметр солеотдачи. Концентрация почвенного раствора при использовании минерализованной воды будет выше, но цель промывки — вымыть соли, содержащиеся в почве. Поэтому исходное уравнение будет одно и то же и формулы (63), (64), (67) и (70) будут пригодны для промывок минерализованной водой. Изменится только показатель солеотдачи α, его параметры a и n или a', n' будут зависеть не только от S_0, S_1 и скорости фильтрации, но и от минерализации промывной воды (типа и степени). Задача заключается в том, чтобы найти эти параметры.

Химические мелиорации. Рассоление происходит за счет внесения химических мелиорантов в жидком или твердом виде. Образующиеся в результате обменных реакций соли вымывают. В исходном уравнении допущения можно сделать те же и применять формулы (63),

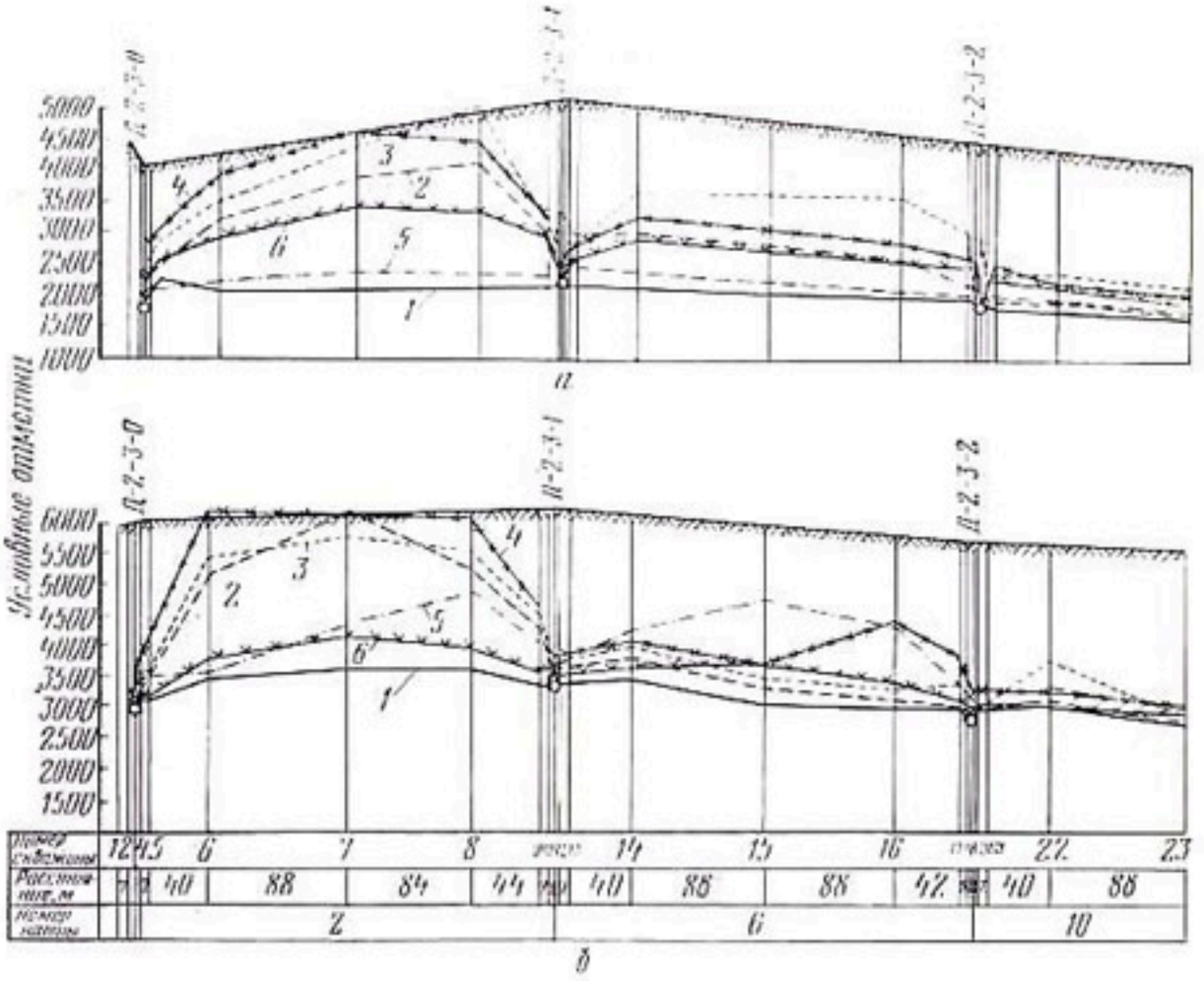


Рис. 39. Динамика уровня грунтовых вод в междренье Д-2-3-0—Д-2-3-1 (при промывках засоленных земель) и в соседнем междренье Д-2-3-1—Д-2-3-2 (при отсутствии промывок):

а — северный створ; *б* — южный створ; *1* — на 20/X 1970 г.; *2* — 29/X, 31/X 1970 г.; *3* — 6/XI 1970 г.; *4* — 15/XI 1970 г.; *5* — 29—30/XI 1970 г.; *6* — 3/I 1971 г.

(64), (67) и (70). Изменится только показатель солеотдачи α, его параметры будут зависеть от S_0, S_1, скорости фильтрации и дополнительно от типа, характера, количества химических мелиорантов. Следует определить эти параметры.

Электропромывки. Можно пользоваться уравнениями (63), (64), (67), (70). Изменится числитель уравнения (72), в который будет или добавлен член, учитывающий составляющую скорости фильтрации за счет действия электрического поля, или введен коэффициент при последнем члене числителя этого уравнения.

Следует отметить, что члены, учитывающие составляющие скорости фильтрации за счет действия электрического поля, могут носить функциональный характер в зависимости от силы тока, напряжения, размеров между дренами или полюсами и т. п.

Таблица 61. **Сравнительная таблица расчетных промывных норм N при различных скоростях фильтрации v** (конечное засоление $S_к = 0{,}3$)

Расчетная формула	Исходное засоление $S_н$	N, м³/га, при v, м/сут			Отношение N по Волобуеву к N по другим формулам при v, м/сут		
		0,01	0,02	0,03	0,01	0,02	0,03
В. Р. Волобуева	2,0	15 250	11 100	8480	—	—	—
	1,0	9 690	7 060	5380	—	—	—
	0,6	5 590	4 080	3110	—	—	—
При непрерывных промывках (68)	2,0	15 600	9 600	6950	0,98	1,16	1,22
	1,0	11 500	7 100	5140	0,84	0,99	1,05
	0,6	7 410	4 560	3300	0,75	0,90	0,94
При прерывистых промывках (71)	2,0	15 500	9 780	6850	0,98	1,13	1,24
	1,0	11 450	7 250	5060	0,85	0,98	1,06
$U=150$	0,6	7 380	4 660	3265	0,76	0,88	0,95
	2,0	14 200	8 700	6270	1,07	1,28	1,35
$U=500$	1,0	10 450	6 420	4950	0,92	1,10	1,09
	0,6	7 050	4 130	3180	0,8	0,99	0,98
	2,0	12 850	7 900	5700	1,19	1,41	1,49
$U=1000$	1,0	9 500	5 820	4200	1,02	1,21	1,28
	0,6	6 110	3 750	2810	0,91	1,09	1,11
$U=2000$	2,0	9 500	5 840	4220	1,6	1,90	2,01
	1,0	7 000	4 300	3110	1,39	1,64	1,73
	0,6	4 500	2 770	2010	1,24	1,48	1,54

Таким образом, рассоление земель с помощью промывок основано на способах улучшения показателя солеотдачи при увеличении до определенных пределов скорости фильтрации (увеличение дренированности, рыхление почв, частично внесение некоторых химических мелиорантов, повышающих водопроницаемость почв, электропромывки и др.) и использовании реакций обмена между солями и различными химическими мелиорантами.

ЗАДАЧИ ДАЛЬНЕЙШИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Задачи дальнейших исследований в условиях напорного питания грунтовых вод:

уточнение предлагаемых методов расчета и проектирования промывок засоленных земель для различных типов засоления;

установление эффективности и разработка рекомендаций по борьбе с засолением земель другими способа-

ми (химические мелиоранты, электропромывки, промывки магнитной водой и т. п.);

разработка новых способов борьбы с засолением земель и установление их эффективности в различных природных условиях. Для этого необходимы глубокие детальные исследования исходных параметров — коэффициента конвективной диффузии, параметров солеотдачи a и n или a' n' и т. п. и их зависимостей от действующих факторов (скорости фильтрации, типа и степени засоления, использования различной воды и т. д.);

уточнение существующих рекомендаций по борьбе с солонцеватостью почв;

разработка методов регулирования водно-солевого режима почв с учетом регулирования всего комплекса факторов жизни растений.

7. ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ СПОСОБОВ РАССОЛЕНИЯ ЗЕМЕЛЬ

СУЩЕСТВУЮЩИЕ СПОСОБЫ РАССОЛЕНИЯ ЗЕМЕЛЬ И ИХ АНАЛИЗ

Известны различные методы нейтрализации или удаления солей из почвы. К наиболее эффективным относятся химические мелиорации и промывки засоленных земель.

Способы промывки засоленных земель имеют несколько разновидностей, в том числе по мелким и крупным чекам, бороздам, полосам, при культуре риса, метод боковых промывок, форсированные промывки, промывки с применением временного дренажа мелкого и глубокого и др.

Промывки по мелким чекам (0,05—0,5 га) проводят обычно при сравнительно небольших уклонах (0,003—0,005). Достоинства этого способа — возможность более равномерного распределения воды по чеку (с отклонениями 5—10 см), возможность подачи малых норм воды, что значительно повышает эффективность промывок. Основные недостатки этого способа — значительные затраты и трудоемкость выполнения.

Промывки по крупным чекам (0,5—7 га) рекомендуется проводить при малых уклонах (не свыше 0,002—0,003) и коэффициенте фильтрации почвогрунтов $K_ф \geqslant \geqslant 0{,}4$ м/сут. Достоинства этого способа — меньшие затраты и меньшая трудоемкость выполнения по сравнению с промывками по мелким чекам. По крупным чекам промывки можно проводить в зимнее время. Благодаря тому, что вода в больших чеках или не промерзает, или промерзает гораздо позже, чем в мелких чеках, исключается непроизводительный сброс воды.

Недостатки этого способа — невозможность подачи небольших разовых норм с перерывами между ними, поэтому происходит перерасход воды; большая разница

в промывных нормах (1500—2000 м³/га при каждой заливке) между верхней и нижней частью чеков; возможность разрушения валиков чеков при сильном ветре; необходимость поперечных валиков внутри чеков (Мясищев, 1968) для гашения воды и т. п.

Промывки по бороздам, выполненные Б. В. Федоровым (Федоров, 1961), показали высокую эффективность. Эффективность таких промывок отмечается в Чуйской долине на Кантском опорном пункте (Золотарев, Дашевский, 1953), в колхозе «Трудовик» (Каплинский, Шеслер, 1970), на юге Таджикской ССР (Грабовская, 1954) на легководопроницаемых почвах. Недостатки этого способа — накопление солей в гребнях борозд. Для промывки солей гребни затапливают, затем воду сбрасывают за пределы промываемого участка по специальной сети.

При промывках по полосам, проведенных в колхозе им. Ильича (Шеслер и др., 1977), происходит блуждание потока, вследствие этого неравномерность промывки. Поэтому проводить промывки таким способом не рекомендуется. Опытные промывки с применением посевов затопляемого риса для рассоления и освоения сильно засоленных земель и солончаков проводились уже давно. В настоящее время с помощью риса освоена бóльшая часть мелиоративно неблагополучных земель в Хорезмской области, Центральной Фергане, Голодной степи и на юге Украины.

Ряд исследователей (А. И. Калашников, И. П. Гончаров, В. Р. Щупаковский, Е. Г. Петров, В. И. Бобченко, А. А. Сидько, Ф. Ф. Вышпольский, С. И. Мясищев и др.), придавая большое значение рису, предполагают посевы риса использовать при летней промывке засоленных земель. Противоположной точки зрения придерживаются В. М. Легостаев, В. М. Стец, Э. Л. Лившиц и др., отрицающие целесообразность возделывания риса при промывках засоленных земель. Они ссылаются на особенность возделывания риса, отрицательно влияющую на прилегающие земли при недостаточной дренированности: длительный вегетационный период (около 4 месяцев); большие затраты воды, превышающие обычно применяемые при промывках; необходимость проточности и сброса оросительных вод в дренажную сеть.

Исследователи, выступающие за применение посевов риса для рассоления земель, опираются на опыт в ряде

районов Узбекистана, Казахстана и др. Возможность применения посевов затопляемого риса для рассоления земель следует рассматривать в конкретных условиях с анализом технико-экономических показателей. При всей заманчивости этого способа рассоления, в ряде случаев быстро окупающегося за счет получения высокого урожая риса, следует иметь в виду также и отрицательные стороны: суммарное испарение и сбросы воды, составившие, по данным КазНИИВХ (Вышпольский, 1971), 40% промывной нормы; возможный подъем грунтовых вод на прилегающих площадях, особенно при плохой дренированности территории, и др.

В связи с большими затратами воды при посевах затопляемого риса в Голодной степи, Южной Туркмении (Грабовская, 1954) и опытных станциях СоюзНИХИ была изучена возможность сокращения суммарной оросительной нормы путем применения прерывистой подачи воды на посевы риса. В опытах на полях Вахшской долины при прерывистой подаче воды достигалось сокращение водоподачи: при перерывах на три дня — 18%, на четыре — 47%, на пять дней — 46%, при этом урожайность риса соответственно составила 32,25 и 30 ц/га. При постоянном затоплении урожай составил 3 ц/га. Метод боковых промывок разработан А. И. Калашниковым и испытан на протяжении 6 лет на солончаках Шурузякского массива Голодной степи. Применение этого метода рекомендуется для земель наиболее трудных в мелиоративном отношении, где его эффективность выше по сравнению с обычными сплошными промывками.

А. Е. Нерозин (1964) отмечает, что предлагаемый метод, несмотря на небольшие затраты, имеет ряд недостатков: быстрое заиление и зарастание отточных элементов. Из-за этого уменьшается рабочая глубина их; нарезка приточно-отточных элементов затрудняет проведение полевых работ. Значительные расстояния между приточными и отточными элементами обусловливают: бо́льшую продолжительность промывок, испарение не только из приточных элементов, но и из грунтовых вод, а следовательно, потерю промывной воды и вынос солей к поверхности.

При сравнительно небольших расстояниях, кроме затруднения при проведении полевых работ, происходит потеря площади и значительные затраты.

Так, при глубине отточных элементов 1 м, расстоянии между приточными и отточными элементами 10 м и коэффициенте фильтрации почвогрунтов 1 м/сут скорость фильтрации составит 0,1 м/сут. Следовательно, струйка воды, профильтровавшаяся из приточного элемента, движущаяся в боковом направлении, попадает в отточный элемент через 100 сут. Обычно на сильнозасоленных почвогрунтах коэффициенты фильтрации весьма малы и значительно ниже 1 м/сут, поэтому продолжительность движения этой струйки также увеличится и, очевидно, при определенных условиях весь поток может идти на испарение с грунтовых вод.

При вышеуказанных исходных данных, при заложении отточных элементов на водоупоре средняя мощность бокового потока грунтовых вод составит 0,5 м. Тогда на 1000 м длины приточных и отточных элементов (1 га) расход воды в отточные элементы составит

$$q = к\omega i = 1 \cdot 1000 \cdot 0{,}5 \cdot 0{,}1 = 50 \text{ м}^3/(\text{га} \cdot \text{сут}).$$

При продолжительности вегетационного периода 6 месяцев среднее испарение грунтовых вод в Чуйской долине, рассчитанное по формуле Аверьянова, составляет 34 м³/(га·сут), то есть 68% поступления воды в отточный элемент. При коэффициенте фильтрации почвогрунтов менее 1 м/сут весь фильтрационный поток может расходоваться на испарение, а не поступать в отточные элементы. Поэтому в каждых конкретных условиях требуются технико-экономические расчеты с установлением возможности применения этого способа рассоления земель.

Форсированные промывки разработаны в АзНИИГиМе (Э. С. Варунцян). При этом способе в условиях высокой водопроницаемости почвогрунтов подаются значительные промывные нормы (до 50—70 тыс. м³/га и более). Этим способом достигается быстрое необратимое рассоление почвогрунтов и грунтовых вод на большую глубину. Однако есть противники этого способа рассоления земель, которые считают, что чем выше промывная норма, тем ниже промывной эффект.

Промывки с устройством временного дренажа применяют для повышения эффективности выноса солей, обеспечения подачи требуемой промывной нормы за определенное время и своевременной сработки уровня грунтовых вод до необходимой глубины. Временный

неглубокий (0,6—1 м) открытый дренаж широко применяется в сочетании с постоянным дренажем. Его назначение — отводить максимальное количество промывных вод и солей из почвогрунтов.

По вопросу применения мелкого временного дренажа при промывках засоленных земель мнения ряда авторов разошлись. При высокой проницаемости почвогрунтов в зоне аэрации, усиленной наличием водопроницаемых прослоек, глубокий дренаж обеспечивает высокую эффективность промывки. Мелкие временные дрены играют второстепенное значение, и применять их необязательно, а при высокой водопроницаемости почвогрунтов нежелательно, так как они снижают рассоляющее действие глубокого дренажа.

Исследования по промывке тяжелых почвогрунтов с низкой водопроницаемостью показали, что мелкий временный дренаж в этих условиях весьма эффективен, обеспечивает быстрое рассоление верхнего слоя почв. Таким образом, применение мелкого временного дренажа в дополнение к глубокому весьма эффективно на почвах с $к=0{,}05—1{,}5$ м/сут. При $0{,}05>к>1{,}5$ м/сут, особенно при наличии прослоек с повышенной водопроницаемостью, дополнительный временный дренаж малоэффективен.

Промывки с временным дренажем нужны там, где он окажется эффективным. Для этого необходим предварительный анализ характера и степени засоления, водно-физических свойств почвогрунтов, в частности их фильтрационной способности, гидродинамической картины работы дренажа, схемы питания и т. п., необходимых для выбора расчетных формул и расчета по ним дебита дрен, скорости фильтрации и промывной нормы.

Кроме рассмотренных способов промывки, существует так называемая полосовая промывка. С. Ф. Аверьянов, В. А .Ковда, В. Р. Волобуев, В. М. Легостаев и другие исследователи предлагали подачу повышенных норм воды на центральные части междренья.

Профилактические поливы и промывной режим орошения. На староорошаемых, склонных к засолению землях и землях недопромытых для создания условий, исключающих реставрацию засоления почв для дальнейшего рассоления наряду с применением комплекса агротехнических и других мероприятий очень важно правильно выбрать режим и технику орошения.

Режим орошения сельскохозяйственных культур, применяемый для этих целей, должен обеспечить растения влагой, необходимой для создания высокого урожая, и регулировать солевой режим в почве путем поддержания повышенной влажности и создания нисходящих токов в почвогрунтах. В дополнение к этим мероприятиям, а также при обычном режиме орошения накопившиеся соли удаляют осенними или осенне-зимними профилактическими (промывными) поливами нормами 2—3 тыс. м³/га.

На основе исследований, выполненных КиргНИИВХ, ВНИИКАМС в условиях Чуйской долины, рекомендовано для создания нисходящих капиллярных токов воды на землях, склонных к засолению и засоленных, увеличивать число вегетационных поливов на 1—2 против расчетных с одновременным увеличением поливной нормы до 1000—1500 м³/га. Однако это возможно лишь в условиях хорошей дренированности, обеспечивающей отвод излишне поданных оросительных вод. Для удаления избытка воднорастворимых солей из корнеобитаемой зоны, накопившихся за один или несколько вегетационных периодов, можно проводить профилактические поливы, сочетая их с влагонакопительными. Профилактические поливы могут проводиться в осенний период или после уборки культур, или в сочетании с последним вегетационным поливом увеличенной нормой. На почвах с относительно близким залеганием минерализованных грунтовых вод (до 3,5 м) профилактические поливы должны проводиться ежегодно или через год, при более глубоком залегании грунтовых вод — через год и реже, в зависимости от накопления солей. Нормы профилактических поливов в зависимости от механического состава почв принимаются: для легких почв — 1500 м³/га; для среднесуглинистых почв — 2000 м³/га; для тяжелосуглинистых почв — 2500 м³/га. Нормы могут быть снижены по мере общего уменьшения засоления почвогрунтов и грунтовых вод.

Таким образом, каждый из рассмотренных способов промывки засоленных земель может быть эффективен и применим лишь при определенном сочетании условий. Применительно к условиям Чуйской долины при значительных уклонах поверхности земли на тяжелых почвогрунтах и отсутствии избытка воды могут быть применимы промывки по мелким чекам на фоне постоянного

дренажа (горизонтального и вертикального) с применением и без применения мелкого временного горизонтального.

ВЛИЯНИЕ ОТДЕЛЬНЫХ ФАКТОРОВ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРОМЫВКИ ЗАСОЛЕННЫХ ЗЕМЕЛЬ

При промывке засоленных почвогрунтов происходит растворение и удаление из расчетного слоя почвогрунта избытка водорастворимых солей до пределов, обеспечивающих оптимальное развитие сельскохозяйственных культур. Поэтому промывная норма должна быть достаточной для перевода в раствор всех вредных солей и вытеснения полученного солевого раствора из расчетного слоя почвогрунтов.

Исследованиями ряда авторов установлено, что чем меньше степень засоления, тем труднее солеотдача из почвы в почвенный раствор, а следовательно, труднее вымываются соли, и, наоборот, чем выше степень засоления, тем быстрее соли переходят в почвенный раствор и вымываются из почвогрунтов.

Существенное значение на размер промывной нормы оказывает техника распределения промывной нормы. Известно, что эффективность промывок засоленных земель повышается, если их проводить с определенными перерывами между сроком окончания впитывания поданной воды и сроком подачи новой порции воды. Это необходимо для лучшего растворения солей, перехода их в почвенный раствор и вытеснения последующей порцией воды в глубокие горизонты или в дренажную сеть.

Исследования В. М. Легостаева показали, что на почвах слабой и средней степени засоления наиболее эффективная продолжительность составляет 8 дней. Однако при промывках сильно засоленных почвогрунтов ощутимой разницы в эффективности промывок при перерывах между подачами отдельных порций воды и без них нет.

При промывке сильно засоленных почв количество солей постепенно уменьшается и каждой последующей порцией воды выносится все меньшее количество солей, поэтому вначале промывку таких почв можно проводить без перерывов, а затем постепенно увеличивать перерывы до 8 суток. На необходимость перерывов указывает-

ся также в работах Астапова (1943), Розова (1956), Панина (1968), Грабовской (1954), Рабочева (1953) и других авторов.

По данным этих авторов следует, что одним и тем же количеством воды, поданной с перерывами (или без них), можно получить различный эффект промывки. На интенсивность вымыва солей большое влияние оказывает величина разовой промывной нормы.

На основании опытов, проведенных на Ферганской опытной станции, В. М. Легостаев (1953) пришел к выводу, что лучшая промывная норма каждого полива равна 30—40% предельной полевой влагоемкости опресняемого слоя (для метрового слоя легких почв она составляет 800—1000 м³/га, средних 1000—1200, тяжелых 1200—1500 м³/га). При таких нормах эффективность промывок, по данным Легостаева, повышается в 2 раза и более по сравнению с поливными нормами, равными 100% предельной полевой влагоемкости.

Л. П. Розов (1956) рекомендует проводить первую заливку, равную дефициту, до предельной полевой влагоемкости (П—М), а все последующие по 800—1000м³/га с интервалом в 2—5 дней. В. Р. Волобуев (1960) допускает норму каждого отдельного промывного полива 2—2,5 тыс. м³/га с перерывами в 5—10 дней. Однако почвы тяжелого механического состава (глинистые, солонцеватые) склонны к набуханию и заплыванию, их рекомендуется промывать, постоянно поддерживая поверхность в затопленном состоянии.

На эффективность промывки засоленных земель и норму промывок оказывают влияние также сроки проведения промывок. Оптимальные сроки устанавливают в зависимости от совокупности природных условий, в том числе от действия температуры воздуха и почвы на растворение и вымывание солей.

Известно, что растворимость большинства солей возрастает с повышением температуры, но в различной степени. При возрастании температуры от 0 до 20°С растворимость NaCl увеличивается незначительно, растворимость Na_2SO_4 почти в 4 раза, $CaCl_2$ в 1,5 раза, $CaSO_4$ на 13%. Поэтому при назначении сроков проведения промывок необходимо учитывать состав вредных для растений солей, находящихся в почве, и степень их растворимости.

Это отмечается в исследованиях АзНИИГиМа на

Ширванском опытном участке Ахундовым (1960), Аристовым (1962), Левковским (1968) и другими.

Присутствие в воде CO_2 и органических кислот повышает степень растворимости всех солей. Поэтому внесение в почву удобрений (навоз и т. п.), содержащих вышеуказанные элементы, перед промывкой в значительной степени увеличивает растворимость солей и облегчает промывку. Так, по данным В. М. Легостаева, внесение навоза на тяжелых по механическому составу почвах увеличивает вымыв солей при одной и той же промывной норме. На промывную норму влияет также глубина залегания грунтовых вод и их напорность.

Лучшее время промывных поливов для большинства районов Средней Азии сентябрь — ноябрь, когда грунтовые воды залегают наиболее глубоко от поверхности земли, почва относительно теплая, испарение почвенной влаги снижено. Эффективность осенних промывок повышается также за счет дополнительного выщелачивания солей выпадающими осадками в зимне-весенний период. Такого мнения придерживаются и другие исследователи (Б. В .Федоров, П. К. Пенской, С. Ф. Аверьянов, С. В. Астапов и др.).

На эффективность промывки значительное влияние оказывает подготовка поля под промывку. Так, исследованиями В. М. Легостаева, И. С. Рабочева, Ф .Ф. Трапезникова, В. Б. Бессмертного, В. Г. Лунева установлено, что большие (некапиллярные) промежутки между частицами почвы, образованные отмершими корнями растений, землероями и т. п., вызывают при промывках непроизводительные потери воды. Поэтому при подготовке поля под промывку рекомендуется проводить вспашку, боронование и малование.

На положительный эффект предполивной обработки почв указывают и другие исследователи (П. К. Пенской, С. В. Астапов, В. С. Малыгин и др.). Вспашка, боронование и малование создают условия ускоренного и равномерного впитывания промывной воды. Чем глубже рыхление, тем успешней будут вымываться соли из почвы. На почвах очень тяжелых (глинистых) и солонцеватых, подверженных заплыванию, малование рекомендуется исключить.

Таким образом, правильная подготовка поля под промывку имеет большое значение, и этому мероприятию необходимо уделять соответствующее внимание.

ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ПРОМЫВКИ ЗАСОЛЕННЫХ ЗЕМЕЛЬ

В задачу мелиорации земель входит создание необходимых условий для получения высоких урожаев сельскохозяйственных культур при экономически выгодных показателях. Эффективность капитальных вложений в гидротехнические мелиорации (орошение, осушение, обводнение) рекомендуется определить по эффекту сельскохозяйственного производства на мелиорируемых землях.

При экономическом обосновании каждого проекта исчисляется общая (абсолютная) и сравнительная экономическая эффективность. Общая эффективность позволяет определить хозяйственную целесообразность осуществления проекта, сравнительная эффективность — выбрать лучший вариант при минимуме затрат. Сравнительная экономическая эффективность капитальных вложений определяется при сопоставлении вариантов хозяйственных или технических решений.

В условиях Чуйской долины промывные нормы могут быть 10—20 тыс. м³/га и более. Осуществить промывки такими нормами, особенно на больших площадях в сравнительно короткий период времени (2—2,5 месяца), можно двумя путями: выполнить промывки в течение нескольких лет нормами, не превышающими 3—5 тыс. м³/га на фоне постоянного горизонтального дренажа; создать достаточную дренированность промываемой площади (строительство временного дренажа). В каждом из этих вариантов есть положительные и отрицательные стороны. Применение любого из них должно быть обосновано технико-экономическими расчетами. Так, в первом варианте (промывки в течение нескольких лет) в первые годы после начала освоения будет недобор урожая. При промывках на фоне разреженного дренажа соли перемещаются из верхних горизонтов в нижние, откуда они могут в летний период снова подтянуться к поверхности, поэтому потребуются ежегодные осенние промывки или профилактические поливы. Положительное качество этого варианта — сравнительно невысокая стоимость и небольшая потребность в промывной воде.

При втором варианте требуются значительные капитальные затраты на подготовку полей к промывке, нарезку чеков и временной дренажной сети (с последую-

щей ликвидацией) и большое разовое количество промывной воды. Положительные качества: временным дренажем соли выносятся за пределы промываемой площади; возможность получения высоких урожаев сельскохозяйственных культур в первые же годы после выполнения промывок.

Результаты опытов показывают, что в один сезон (осень) при устройстве временного дренажа с расстояниями между дренами не менее 25 м можно подать на промывку не более 10—12 тыс. м³/га.

Следовательно, полная промывка сильно засоленных земель может быть осуществлена за период не менее двух сезонов или за один сезон, но с расстоянием между дренами временного дренажа менее 25 м. Это приведет к значительным затратам.

Установление экономической эффективности различных способов рассоления земель при любой степени засоления. Из структуры формул для определения экономической эффективности рассоления земель требуются сведения о капитальных затратах, себестоимости продукции *С* и стоимости продукции *Ц*.

Капитальные затраты при рассолении земель промывками с применением временного дренажа в основном зависят от удельной протяженности временного дренажа и его глубины. При сравнении вариантов расстояние между постоянными дренами и их глубина остаются неизменными. В принципе можно рассматривать различные сочетания постоянного и временного дренажа.

Общее выражение для установления капитальных затрат на строительство горизонтального дренажа имеет вид (формула 47). Для учета капитальных затрат на промывки с применением временного дренажа необходимо к капитальным затратам на строительство временного дренажа добавить затраты на подготовку полей к промывке и производство самих промывок.

Себестоимость, стоимость и чистый доход сельскохозяйственной продукции с 1 га зависят от применяемых севооборотов, состава и урожайности культур в них. Средняя величина себестоимости и стоимости продукции, а также чистого дохода может быть установлена как средневзвешенная за полную ротацию севооборота.

Экономическая эффективность устанавливается следующим образом. Рассчитываются размеры промывных норм при соответствующих параметрах дренажа (посто-

янного и временного), схемах рассоления земель (обычные, коренные) и периода промывок. Затем проводится сравнение приведенных затрат по вариантам:

при выполнении промывок засоленных земель в один год урожайность и себестоимость сельскохозяйственных культур в последующие годы принимается равной 100% плановых;

при выполнении промывок в несколько лет или периодов устанавливается остаточная засоленность после каждого года промывки и соответственно в последующие годы принимается урожайность и себестоимость сельскохозяйственных культур при этой (остаточной) засоленности; учитываются дополнительные затраты (капитальные и эксплуатационные) на поддержание соответствующих режимов влажности и засоления после обычных промывок засоленных земель в сопоставлении с коренными промывками.

Автором рассмотрены следующие варианты рассоления земель.

1. Промывка нормой 20 тыс. м³/га за один год (осенью) при временном дренаже глубиной 1 м с расстоянием между временными дренами 11 м (параметры дренажа установлены для средних условий засоленных земель Чуйской долины при исходном засолении 2% по плотному остатку и 1% по сумме токсичных солей и коэффициентах фильтрации верхних горизонтов почвогрунтов 1 м/сут, нижних 0,5 м/сут).

2. Промывка нормой 20 тыс. м³/га за два года на фоне временного дренажа глубиной 1 м с расстоянием между дренами 25 м. После первого года промывки нормой 10 тыс. м³/га поле не засевают сельскохозяйственными культурами, осенью следующего года оно допромывается оставшейся нормой.

3. Промывка нормой 20 тыс. м³/га на фоне временного дренажа за два года. После первого года промывки нормой 10 тыс. м³/га поле засевают яровыми зерновыми, после уборки которых поле заново промывают.

4. Промывка нормой 20 тыс. м³/га на фоне временного дренажа. В первый год подается норма 10 тыс. м³/га, затем в течение четырех лет проводятся промывки нормой 2,5—3 тыс. м³/га.

В варианте 3 после первого года промывки урожайность принята 60% плановой, после второго — 100%; в варианте 4 — после первого года промывки урожайность

принята 60% плановой, в последующие годы она ежегодно повышается на 10% (рассмотрен вариант с 10-польным свекловичным севооборотом). Сравнение рассматриваемых вариантов показало, что с экономической точки зрения по всем показателям лучшим является вариант 2, то есть рассоление земель за два года на фоне временного дренажа с междреньями 25 м без посева сельскохозяйственных культур на второй год.

Вариант выполнения промывок за один год на фоне загущенного дренажа (В=11 м) оказался менее эффективным. Этот вариант соответствует коренному рассолению земель, при котором есть свои преимущества:

отсутствие опасности вторичного засоления почвогрунтов при возможном подъеме грунтовых вод (не удовлетворительная эксплуатация постоянного дренажа, дополнительное инфильтрационное питание и т. п.);

возможность регулирования водно-солевого режима почвогрунтов путем двойного регулирования уровня грунтовых вод, позволяющего значительно повысить урожайность сельскохозяйственных культур, следовательно экономическую эффективность.

В рассмотренном примере эти факторы не учтены, поэтому этот вариант оказался менее эффективным. При сравнении различных вариантов по формуле определения приведенных затрат получаемые фактические значения себестоимости и капитальных затрат должны быть приведены к сопоставимому виду, то есть к одинаковому количеству продукции или одинаковой цене на продукцию.

Заключение

Природные условия Чуйской долины способствуют формированию напорных грунтовых вод, поднимающихся к поверхности и вызывающих заболачивание почв, а иногда и их засоление. Поэтому на значительной площади мелиоративно неблагополучных земель требуются мероприятия по снижению уровня грунтовых вод, предотвращению засоления и по рассолению уже засоленных почв.

К первоочередным мероприятиям, направленным на улучшение мелиоративного состояния земель, относятся; дренаж, двойное регулирование неминерализованных грунтовых вод, промывки засоленных земель. В Чуйской долине дренаж выполнялся в основном открытый, строительство закрытого дренажа началось с 1960 г. В настоящее время общая площадь, охваченная дренажем, составляет более 100 тыс. га.

Изучение работы открытого горизонтального дренажа показало, что при дренаже, выполненном в соответствии с проектами, хотя и обеспечивается поддержание уровня грунтовых вод на требуемых глубинах, но из-за нарушения правил эксплуатации дренажных систем происходит заиление дренажных линий и подъем уровня грунтовых вод.

Нормально функционирующий дренаж обеспечивает поддержание уровня грунтовых вод в междренъях на глубине, исключающей вынос солей в верхние горизонты почвогрунтов. Оптимальная среднегодовая глубина грунтовых вод 2—2,5 м, дренажный модуль 0,1—0,4 л/(с·га). При нормальной работе дренажа происходит качественное и количественное изменение минерализации грунтовых вод (вместо содово-сульфатного типа грунтовые воды становятся сульфатными, минерализация их уменьшается в 1,5—2 раза); в верхнем слое 0—20 см уменьшается засоление почв (в слое 0—300 см изменения за-

соления не наблюдается, и годовой солевой баланс равен нулю).

На основе исследований эффективности горизонтального дренажа рекомендации по выбору и обоснованию исходных параметров, расчету и проектированию дренажа даны с учетом особенностей его работы в условиях напорного питания грунтовых вод. В этих условиях методы определения коэффициента фильтрации слоистых почвогрунтов учитывают особенности поступления воды в дрены; зависимости для расчета дебита дренажа учитывают поступление воды снизу и со стороны междрений, размер зоны восходящего потока; оптимальные системы горизонтального дренажа рекомендованы на основе требуемых водно-солевого режима, уклонов заложения дрен и коллекторов, диаметра труб, их перфорации, материала фильтров, числа дрен; потребность и возможность устройства комбинированного дренажа устанавливается с учетом напорности грунтовых вод, мощности напорных водоносных горизонтов и технико-экономических показателей.

В зоне выклинивания неминерализованные грунтовые воды поднимаются близко к поверхности земли в зимне-весенний период, понижать их необходимо в основном к началу посевного периода. В вегетационный период дренаж излишне понижает уровень грунтовых вод и вызывает иссушение незасоленных почв, поэтому появляется необходимость в орошении этих почв. Регулирование грунтовых вод с помощью регулирования дренажного стока позволяет сократить потребность в поверхностном орошении или вообще обойтись без него.

Исследованиями установлено, что при использовании грунтовых вод для подпитывания растений значительно повышается урожайность сельскохозяйственных культур при снижении себестоимости за счет сокращения их обработки после поверхностных поливов. Расчеты технико-экономической эффективности применения регулирования грунтовых вод показывают, что возделывание сельскохозяйственных культур в любых вариантах значительно эффективнее, чем без его применения. Возможность применения регулирования неминерализованных грунтовых вод обоснована динамикой подземного притока и других элементов водного баланса; потребностью сельскохозяйственных культур в воде (грунтовой и оросительной); оптимальной глубиной грунтовых вод, при которой

получают высокие урожаи сельскохозяйственных культур, и установившейся (равновесной) глубиной грунтовых вод (приток равен оттоку из расчетного слоя). Эти возможности уточняются учетом накопления солей в почвах за вегетационные периоды при значительном испарении грунтовых вод.

Для эффективной борьбы с засолением орошаемых земель в Чуйской долине применяли промывки в различных условиях и на разных дренах.

При промывках на фоне только постоянного дренажа достигается рассоление лишь верхних горизонтов почвогрунтов при значительных затратах промывной воды.

Малая эффективность промывки засоленных земель на фоне только постоянного дренажа объясняется неблагоприятными схемами питания дренажа.

Так, анализ схем питания горизонтального дренажа показал, что в условиях напорного питания грунтовых вод основное (до 80% и более) поступление воды в дрены происходит снизу неширокой полосой, максимальное же количество поступающей воды со стороны междрений не превышает 30—35%. Таким образом, инфильтрационные воды опускаются в нижние горизонты, а в дрены поступают неминерализованные или слабоминерализованные воды из напорных водоносных горизонтов.

В эксплуатационный период после таких промывок при глубине грунтовых вод менее 1,5—2 м наблюдается вынос солей к поверхности за вегетацию. При глубине грунтовых вод более двух метров за счет качественного улучшения солей после промывок, применения высокой агротехники (органо-минеральные удобрения, своевременная обработка почвы, поливы, травопольные севообороты) происходит снижение засоления, постепенное уменьшение минерализации грунтовых вод и, как следствие, повышение урожайности сельскохозяйственных культур.

При промывках с применением временного горизонтального дренажа достигается вынос солей за пределы промываемых массивов; временный дренаж отводит воду и соли значительно эффективнее, чем постоянный дренаж, причем эффективность мелкого временного дренажа (0,8—0,9 м) с расстояниями между дренами 20—25 м больше, нежели более глубокого (1,75—2 м) с междреньями 50 м.

Минерализация отводимых дренажных вод находится

в зависимости от засоления почвогрунтов. Эффективность промывок повышается с увеличением скорости фильтрации промывной воды.

Учитывая специфику промывок засоленных земель в условиях напорного питания грунтовых вод, рекомендованы соответствующие методы их обоснования и расчета. Так, методы определения промывных норм для непрерывных и прерывистых промывок засоленных земель учитывают скорость фильтрации промывной воды, зависящую не только от дренированности промываемой площади, но и от ряда других факторов (глубины уровня грунтовых вод на промываемой и прилегающей площадях, размеров прилегающей площади, на которой происходит подъем уровня грунтовых вод, и величины подъема грунтовых вод, периода промывок, влияющего на испарение грунтовых вод на прилегающих площадях, размера промываемой площади и т. п.).

Методы определения параметров временного дренажа при промывках засоленных земель учитывают характер намечаемых промывок — обычные (рассоление определенного слоя без учета направления выноса солей) или коренные (вынос солей со всей засоленной толщи за пределы промываемых массивов). Они основаны не только на учете необходимого условия (требуемый отвод промывной воды за расчетный период промывок), но и достаточного условия (вынос солей со всей промываемой площади за счет охвата этой площади зонами поступления воды в дрены снизу и профиля засоления).

Приведенные в работе материалы исследований, методы расчета и проектирования мелиоративных мероприятий позволяют:

повысить эффективность работы дренажных систем за счет улучшения их расчета и проектирования;

повысить эффективность освоения засоленных земель за счет обоснованного расчета, правильного выбора схемы рассоления земель и улучшения технологии выполнения промывок;

сэкономить средства за счет более обоснованных расчетов по количественным показателям применения мелиоративных мероприятий и т. п.

Рекомендации по вопросам расчета и проектирования дренажа и промывок используются проектными и другими водохозяйственными организациями Киргизской ССР.

Указатель литературы

Аверьянов С. Ф. Расчет осушительного действия глубоких дренажей. — «Научные записки МГМИ им. В. Р. Вильямса», том IV, 1948.

Аверьянов С. Ф. Горизонтальный дренаж при борьбе с засолением орошаемых земель. М., Изд-во АН СССР, 1959, с. 84.

Аверьянов С. Ф. Некоторые вопросы предупреждения засоления земель и меры борьбы с ним в Европейской части СССР. — В сб.: Орошаемое земледелие в Европейской части СССР. М., «Колос», 1965, с. 90—151.

Аверьянов С. Ф. Практикум по сельскохозяйственным мелиорациям. М., «Колос», 1970, с. 343.

Айдаров И. П. Вопросы обоснования мероприятий по борьбе с засолением орошаемых земель. — В кн.: Теория и практика борьбы с засолением орошаемых земель. М., «Колос», 1971, с. 131—158.

Айдаров И. П., Голованов А. И. Борьба с засолением орошаемых земель. — «Оросительные мелиорации» под ред. С. Ф. Аверьянова. М., «Колос», 1973, с. 128—172.

Аристов С. Г. К вопросу о промывках почв, засоленных сульфатом натрия. — «Почвоведение», 1962, № 7, с. 26—30.

Астапов С. В. Промывки засоленных земель. М., 1943.

Баженов Н. К., Бозгунчиев М., Рубцова И. Г. Промывка засоленных сероземно-луговых почв при помощи культуры риса. — «Труды КиргНИИ почвоведения», вып. 3, 1970, с. 33—37.

Баженов Н. К. Изменение почвенно-мелиоративного состояния земель Чуйской впадины под влиянием орошения.—В кн.: IV Всесоюзный делегатский съезд почвоведов. Тезисы докл. Кн. 4, Алма-Ата, 1970.

Большаков М. П., Григоренко П. Г. Перспективы использования подземных вод Чуйской долины для орошения. — «Труды ин-та водного хозяйства и энергетики». АН КиргССР, вып. 3 ,1956, с. 3—33.

Вакеман Э. Г. Мелиорация засоленных почв юго-западного Таджикистана. НИИП МСХ ТаджССР, Душанбе, «Дониш», 1976, с. 212

Вентцель Е. С. Теория вероятностей. М., «Наука», 1969, с. 576.

Волобуев В. Р. Промывка засоленных почв. Баку, 1948, с. 146.

Волобуев В. Р. Промывка и дренаж засоленных почв. — В кн.: Проблемы засоленных почв и водных источников. АН СССР, 1960, с. 97—110.

Волобуев В. Р. Развитие опреснения в глубь почвогрунтов. — «Гидротехника и мелиорация», 1967, № 5, с. 82—90.

Волобуев В. Р. Расчет промывки засоленных почв. М., «Колос», 1975, с. 70.

Вольф В. Г. Статистическая обработка опытных данных. М., «Колос», 1966, с. 154.

Вопросы районирования мелиорируемых территорий по типам дренажа (Чуйская впадина). — В сб.: Вопросы водного хозяйства. Фрунзе, «Кыргызстан», 1974, с. 3—20. — Авт.: М. И. Каплинский, И. К. Дуюнов, М. А. Сабитов и др.

Вышпольский Ф. Ф. Рис и мелиорация земель в хлопковом севообороте. — «Хлопководство», 1971, № 4, с. 35—37.

Госсу Л. К. О взаимосвязи между удельным дебитом дрен и действующими на него факторами. — В сб.: Вопросы водного хозяйства, вып. 13, Фрунзе, «Кыргызстан», 1970.

Госсу Л. К. Влияние скорости фильтрации на промывные нормы (на примере опытных промывок в Чуйской впадине). — В сб.: Вопросы водного хозяйства, вып. 44, Фрунзе, 1977, с. 97—103.

Грабовская О. А. Рассоление засоленных земель и солончаков Таджикистана. АН ТаджССР, 1954, с. 40. Дренаж сельскохозяйственных земель. М., «Колос», 1964, 720 с.

Дуюнов И. К. Некоторые результаты исследований дебита дрен в условиях напорных вод Чуйской долины. — В кн.: Изучение элементов водного баланса, режима и техники орошения. Фрунзе, 1965, с. 26—40.

Дуюнов И. К. К вопросу определения радиуса влияния дренажа в условиях напорных вод Чуйской долины. — В кн.: Изучение элементов водного баланса, режима и техники орошения. Фрунзе, 1965, с. 40—54.

Дуюнов И. К. О работе открытого и закрытого горизонтального дренажа в Чуйской впадине. — «Гидротехника и мелиорация», 1968, № 4, с. 87—100.

Дуюнов И. К., Госсу Л. К. О расчете междудренных расстояний в условиях засоленных земель Чуйской впадины. — В сб.: Вопросы водного хозяйства, вып. 7, Фрунзе, «Кыргызстан», 1968, с. 15—33.

Дуюнов И. К. О схемах питания горизонтального дренажа. — В сб.: Вопросы водного хозяйства (мелиорация), вып. 1, Фрунзе, «Кыргызстан», 1969, с. 39—48.

Дуюнов И. К. Госсу Л. К., Харитонов Б. К. О работе временного дренажа при промывках засоленных земель Чуйской долины. — В сб.: Вопросы водного хозяйства, вып. 19, Фрунзе, «Кыргызстан», 1972, с. 14—22.

Дуюнов И. К., Саппа Г. М., Харитонов Б. К. Промывка сильнозасоленных земель сульфатного типа с повышенным содержанием гипса в северо-западной части Чуйской впадины. — В сб.: Вопросы водного хозяйства, вып. 29, Фрунзе, «Кыргызстан», 1974, с. 50—74.

Дуюнов И. К., Госсу Л. К. Влияние водохозяйственных мероприятий на расчетные величины дренажного модуля и междудренных расстояний. — В сб.: Вопросы водного хозяйства, вып. 29, Фрунзе, «Кыргызстан», 1974, с. 20—33.

Дуюнов И. К. Об одном методе определения промывной нормы. — В сб.: Вопросы водного хозяйства, вып. 36, Фрунзе, «Кыргызстан», 1976, с. 102—105.

Егоров В. В. Особенности работы горизонтального рассолительного дренажа. — «Гидротехника и мелиорация», 1965, № 11, с. 1—7.
Забегайлов А. А. Об эффективности действия коллекторно-дренажной сети в Чуйской долине. — «Изв. Кирг. филиала Всесоюзного общества почвоведов», вып. I, Фрунзе, 1962, с. 99—104.
Загуменный А. И. Временный дренаж при освоении засоленных земель. Ташкент, Госиздат УзбССР, 1955, с. 20.
Зайцев В. Б. Рисовая оросительная система. М., «Колос», 1975, с. 352.
Золотарев С. П., Лашевский А. П Опыт освоения бросовых засоленных земель в свеклосовхозе им. Фрунзе. Фрунзе, 1953, с. 28
Зузик Д. Т., Бышовец А. Экономика водного хозяйства. М., «Колос» 1970, с. 488.
Инструкция по проектированию оросительных систем. Часть VIII. Дренаж на орошаемых землях. М., 1975, с. 274.
Калашников А. И. Метод боковых подземных промывок засоленных земель, Ташкент, 1965, с. 44.
Каплинский М. И. Использование подземных вод на орошение. — «Гидротехника и мелиорация», 1962, № 10, с. 3—16.
Каплинский М. И. Некоторые результаты балансовых исследований в Чуйской впадине. — В сб.: Изучение элементов водного баланса, режима и техники орошения. Фрунзе. КиргНИИВХ, 1965, с. 7—26.
Каплинский М. И. О влиянии типа питания на дебит дрен (Фильтрационный расход) и его зависимость от напора. — В сб.: Вопросы водного хозяйства, вып. 1, Фрунзе, «Кыргызстан», 1969, с. 3—39.
Каплинский М. И., Дуюнов И. К., Налойченко А. О. Структура баланса и возможности использования грунтовых вод для орошения путем регулирования дренажного стока. — В сб.: Вопросы водного хозяйства (водный баланс), вып. 8, Фрунзе, «Кыргызстан», 1970, с. 3—35.
Каплинский М. И., Шеслер Е. Г. Итоги работы по промывке засоленных земель Киргизии. — В сб.: Вопросы водного хозяйства, вып. 13, Фрунзе, «Кыргызстан», 1970, с. 78—86.
Каплинский М. И. Некоторые результаты исследований работы дренажа в условиях Чуйской впадины. — В сб.: Вопросы водного хозяйства (мелиорация и водный баланс орошаемых земель), вып. 7, Фрунзе, «Кыргызстан», 1968, с. 154—164.
Каплинский М. И. Некоторые выводы из анализа водного баланса Чуйской впадины. Фрунзе, АН КиргССР, т. II, 1960, с. 3—34.
Каплинский М. И., Костюк В. И. Изучение водного баланса орошаемых земель. — «Труды САНИИРИ», вып. 32, Ташкент, 1971, с. 66—110.
Каплинский М. И. Комплексное использование поверхностных и подземных вод межгорных впадин Киргизии. «Труды МКИД. Развитие орошения в СССР». М., «Колос», 1975.
Каплинский М. И. Прогнозирование изменений дренажного стока под влиянием водохозяйственных мероприятий. Фрунзе, «Илим», 1977, с. 92.

Каплинский М. И., Карташов В. В. Дефицит водопотребления основных сельскохозяйственных культур Чуйской долины и его изменчивость во времени и пространстве. — В сб.: Вопросы водного хозяйства, вып. 24, Фрунзе, «Кыргызстан», 1972, с. 100—112.
Кац Д. М. Режим грунтовых вод в орошаемых районах и его регулирование. Сельхозгиз, 1963, с. 368.
Ковда В. А. Происхождение и режим засоленных почв, т. I, М.—Л., АН СССР, 1946, с. 573.
Коньков Б. С. Агротехнические меры борьбы с засолением почв. Ташкент, 1948, с. 160.
Костяков А. Н. Основы мелиораций. М., Сельхозгиз, 1960, с. 622.
Левковский Л. К. О влияниях температуры на эффективность промывок. — «Гидротехника и мелиорация», 1968, № 9, с. 87—91.
Легостаев В. М. Промывные поливы на засоленных землях. М., 1953, с. 48.
Легостаев В. М., Аргенов В. Н. Эффективность промывки засоленных почв на фоне дренажа в Голодной степи. — «Гидротехника и мелиорация», 1965, № 9, с. 9—15.
Легостаев В. М. Нормы осушения почв. — «Научные труды ВАСХНИЛ. Борьба с засолением орошаемых земель». М., «Колос», 1967, с. 37—50.
Межов А. А. Пути мелиорации и освоения земель Чуйской долины. Фрунзе, Киргизгосиздат, 1961, с. 70.
Методические рекомендации по реконструкции и повышению эффективности дренажных систем Чуйской впадины (подготовлены И. К. Дуюновым, Л. К. Госсу). Фрунзе, ВНИИКАМС, 1976, с. 50.
Методические рекомендации по расчету и технико-экономическому обоснованию промывок засоленных земель в условиях напорных вод Чуйской впадины (подготовлены И. К. Дуюновым, Б. К. Харитоновым). Фрунзе. ВНИИКАМС, 1976, с. 49.
Мангалиева А. З. Промывка на фоне глубокого рыхления при освоении солончаков. — «Хлопководство», 1963, № 1, с. 36—38.
Мясищев С. И. Способы и техника капитальной промывки засоленных земель. — «Хлопководство», 1971, № 3, с. 36—39
Нерозин А. Е. Дренаж и опреснение засоленных земель. Ташкент, «Узбекистан», 1964, с. 47
Обобщение отечественного и зарубежного опыта по борьбе с засолением орошаемых земель, ч. I, М., 1968, с. 153.
Олейник А. Я., Насиковский В. П. Методы расчета мелиоративного дренажа в неоднородно слоистых грунтах (пособие для расчета), Киев, 1970, с. 230.
Опыт коренной промывки в Голодной степи. — «Гидротехника и мелиорация», 1965, № 3, с. 10—21. — Авт.: Е. Г. Петров, В. И. Бобченко, А. А. Сидько, С. И. Мясищев.
Панин П. С. Процессы солеотдачи в промываемых толщах почв. Новосибирск, 1968, с. 304.
Попова С., Пачепский Я. Рассоление почв при промывках. — «Сельское хозяйство Киргизии», 1972, № 5, с. 34.
Рабочев И. С. Мелиорация засоленных почв Туркменистана. Ашхабад, 1953, с. 27.
Радько А. Ф. Итоги работ по промывкам засоленных земель за 1964—1965 гг. — «Гидротехника и мелиорация», 1966, № 6, с. 55—59.

Рачинский А. А. Эффективные формы мелиоративных исследований. — В кн.: Борьба с засолением орошаемых земель. М., «Колос», 1967, с. 142—150.
Рекс Л. М., Кирейчева Л. В. Методика расчета водно-солевого режима и параметров дренажа на орошаемых землях. — «Гидротехника и мелиорация», 1977, № 5, с. 79—85.
Розов Л. П. Мелиоративное почвоведение. М., Госиздат сельхозлитературы, 1956, с. 440.
Рустамов Г. Г. Промывка на фоне глубокого и мелкого дренажа. — «Гидротехника и мелиорация», 1967, № 8, с. 85—93.
Рымарь П. Опыт орошения хлопчатника дождеванием на больших площадях. — «Хлопководство», 1959, № 1, с. 55—58.
Сабитов М. А., Мякушко В. Л. Опыт промывки засоленных земель на фоне вертикального дренажа. — В сб.: Вопросы водного хозяйства (промывки, дренаж), вып. 13, Фрунзе, «Кыргызстан», 1970, с. 86—95.
Сидько А. А., Мясищев С. И. Значение мелкого временного дренажа при капитальной промывке засоленных земель. — «Гидротехника и мелиорация», 1970, № 9, с. 90—95.
Суюмбаев Д. А. Некоторые закономерности в процессе испарения грунтовых вод. — В сб.: Вопросы водного хозяйства (водный баланс орошаемых земель), вып. 8, Фрунзе, «Кыргызстан», 1970, с. 54—60.
Суюмбаев Д. А., Налойченко А. О., Субирригация в Чуйской долине. Фрунзе, 1975, с. 19.
Указания по проведению промывок засоленных земель. М., «Колос», 1973, с. 22.
Федоров Б. В. О повышении эффективности промывок засоленных земель. — «Хлопководство», 1961, № 10, с. 39—44.
Харитонов Б. К. К оценке предела обессоливания и расчет токсичных солей в почвах сульфатного типа засоления Чуйской долины. — В сб.: Вопрос водного хозяйства, вып. 36. Фрунзе, «Кыргызстан», 1976, с. 111—121.
Черкасов А. А. Мелиорация и сельскохозяйственное водоснабжение. Сельхозгиз, 1958, с. 376.
Шабанов В. В., Рудаченко Е. П. Типизация объектов сельскохозяйственных мелиораций. — «Вестник сельскохозяйственной науки», 1971, № 1, с. 87—90.
Шеслер Е. Г., Москаленко В. А. Рассоление почвогрунтов под влиянием посевов затопляемого риса в Чуйской долине КиргССР. — В сб.: Материалы к республиканской научной конференции по вопросам мелиорации и водного хозяйства, ч. I, Фрунзе, 1968, с. 146—168.
Шеслер Е. Г., Мирошников В. И., Ким В. Ч. Опыт промывок засоленных земель Чуйской долины по полосам. — В сб.: Вопросы водного хозяйства (мелиорация), вып. 38, 1977, с. 106—116.
Шестаков В. М. Теоретические основы оценки подпора, водопонижения и дренажа подземных вод. М., МГУ, 1965, с. 234.
Шестаков В. М. О постановке теоретических исследований процессов засоления и рассоления на орошаемых территориях. — В кн.: Теория и практика борьбы с засолением орошаемых земель. М., «Колос», 1971, с. 46—48.

Эзафович А. С., Дуюнов И. К. Использование грунтовых вод для орошения путем регулирования дренажного стока. — «Гидротехника и мелиорация», 1961, № 4, с. 14—22.

Экономика и организация орошаемого земледелия. М., «Колос», 1964, с. 348.

Якубов Х., Белоусов О. М., Иконому Д. А. О величине промывных норм в условиях сильногипсированных почв. — «Труды САНИИРИ», вып. 132 (мелиорация земель), Ташкент, 1971, с. 30—49.

Янголь А. М. О нормах осушения при двухстороннем регулировании водного режима торфяных почв Украины. — «Гидротехника и мелиорация», 1967, № 5, с. 94—101.

Оглавление

ПРЕДИСЛОВИЕ 3

1. ПРИРОДНЫЕ УСЛОВИЯ ЧУЙСКОЙ ДОЛИНЫ, ОСНОВНЫЕ ЗАДАЧИ И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ 5

Физико-географические условия 5
Климатические особенности 6
Геология и гидрогеология 6
Минерализация грунтовых вод 11
Почвы 12
Засоление почвогрунтов 13
Некоторые закономерности, связанные с формированием и разгрузкой подземных вод 22
Мелиоративная оценка земель 24
О типичности Чуйской долины, основных задачах и методике исследований 26

2. РЕЗУЛЬТАТЫ ПОЛЕВЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПО ИЗУЧЕНИЮ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ГОРИЗОНТАЛЬНОГО ДРЕНАЖА В ЧУЙСКОЙ ДОЛИНЕ 31

Влияние дренажа на динамику уровня грунтовых вод и дренажного стока 31
Влияние дренажа на динамику солевого режима почвогрунтов, грунтовых и дренажных вод 40

3. РАСЧЕТ И ПРОЕКТИРОВАНИЕ ГОРИЗОНТАЛЬНОГО ДРЕНАЖА 60

Гидродинамическая картина работы дренажа 60
Основные схемы питания горизонтального дренажа и их анализ 63
О методике определения коэффициента фильтрации слоистых почвогрунтов 72
Зависимости для расчетов дренажа 79
Расчет внутригодового колебания уровней грунтовых вод и изменение их баланса 84
Глубина заложения дрен 88
Комбинированный и прерывистый дренаж, их технико-экономическое обоснование 89

4. ДВОЙНОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ ГРУНТОВЫХ ВОД 93

Необходимость регулирования 93
Подземный приток и другие составляющие водного баланса 95

Оптимальная глубина грунтовых вод 97
Установившаяся глубина грунтовых вод 99
Потребность в воде при двойном регулировании грунтовых вод 104
Технические возможности регулирования уровня грунтовых вод 105
Изменение засоления почвогрунтов 110
Экономическая эффективность регулирования уровня грунтовых вод 111

5. ПРОМЫВКА ЗАСОЛЕННЫХ ЗЕМЕЛЬ (ПОЛЕВЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ) 120

Промывка земель без дренажа и на фоне постоянного дренажа 120
Промывка на фоне дренажа с применением временного горизонтального дренажа 130

6. ОБОСНОВАНИЕ ПРОМЫВКИ ЗАСОЛЕННЫХ ЗЕМЕЛЬ . . . 142

Существующие методы и зависимости для установления промывных норм 142
Некоторые закономерности, связанные с промывкой засоленных земель 146
Расчет промывных норм 153
Использование предлагаемых методов для расчета промывных норм при других способах рассоления земель . . . 163
Задачи дальнейших исследований 165

7. ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ СПОСОБОВ РАССОЛЕНИЯ ЗЕМЕЛЬ 167

Существующие способы рассоления земель и их анализ . . 167
Влияние отдельных факторов на эффективность промывки засоленных земель 173
Технико-экономические показатели промывки засоленных земель 176
Заключение 180
Указатель литературы 184