

И.П. Айдаров, Т.П. Королькова,
А.И. Корольков

Предупреждение и борьба
с засолением орошаемых земель

Москва 2012

ISBN 978-5-89231-364-3

**МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

**Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего профессионального образования**

**Московский государственный университет
природообустройства**

**И.П. Айдаров, Т.П. Королькова,
А.И. Корольков**

**Предупреждение и борьба с засолением орошаемых
земель (результаты опытно-производственных
исследований в пустынной, степной и сухостепной
зонах, выполненных в 1962-1977 годах)**

МОНОГРАФИЯ

Москва 2012

УДК 631.619.631.587

ББК 40.6

A11

Рецензенты:

Кандидат технических наук, главный специалист
ООО «ГеоГрадСтрой»

В.Х. Хачатурьян

Доктор биологических наук, профессор РГАУ-МСХА имени
К.А. Тимирязева

Н.Н. Игнатъев

И.П. Айдаров, Т.П. Королькова, А.И. Корольков

A11 Предупреждение и борьба с засолением орошаемых земель
(результаты опытно-производственных исследований в пустынной,
степной и сухостепной зонах, выполненных в 1962-1977 годах) – М.
ФГБОУ ВПО МГУП, 2012, 310 с.

ISBN 978-5-89231-364-3

В монографии представлены материалы многолетних полевых и лабораторных исследований кафедры сельскохозяйственных мелиораций Московского гидромелиоративного института на опытно-производственных участках в Средней Азии, Поволжье и Ростовской области.

Даётся оценка природных условий основных районов орошения сельскохозяйственных земель, методика исследований и оборудование опытных участков, приведены результаты опытно-производственных исследований. В завершении изложены основные принципы обоснования мелиоративных мероприятий при орошении земель в различных природных зонах.

Рис. 84, Табл. 54.

ISBN 978-5-89231-364-3

©Айдаров И.П.,
Королькова Т.П.,
Корольков А.И.

© ФГБОУ ВПО
«Московский государственный
университет природообустройства»

*К 100-летию со дня рождения
С.Ф. Аверьянова*

Посвящение

Эта книга выходит в свет в связи со столетием со дня рождения выдающегося ученого, академика ВАСХНИЛ Сергея Федоровича Аверьянова. Вся жизнь Сергея Федоровича прошла в сложное, противоречивое, но насыщенное новыми идеями и техническими достижениями время.

Сфера научных интересов академика Аверьянова была чрезвычайно широка. Его талант теоретика проявился в области изучения и моделирования процессов формирования водного и солевого режимов земель, разработки методов управления ими и создания теории комплексного регулирования не только факторов жизни растений, но и состояния природных систем в целом. В докладе по случаю своего 60-летнего юбилея Сергей Федорович отмечал, что пришло время широко использовать результаты достижений смежных, более точных наук физико-математического плана: гидромеханики, гидравлики, механики грунтов, строительной механики, гидродинамики и физической химии для анализа и моделирования природных процессов, то есть внедрять в мелиоративную науку современные методы и способы расчета. Количественное описание явлений, наряду с

качественным, он считал необходимым условием управления природными процессами.

В то же время, Сергей Федорович четко понимал необходимость тесной связи теории с практикой. По всем научным направлениям, которые он считал приоритетными, им были организованы научные экспедиции и широкие опытно-производственные исследования в различных природных зонах страны. Определяя основные направления научных исследований, он избегал мелочной опеки, давая полный простор творческой деятельности.

Настоящая книга подготовлена группой научных сотрудников кафедры сельскохозяйственных мелиораций Московского гидромелиоративного института, проводивших опытно-производственные исследования в пустынной, сухостепной и степной зонах страны в 1962-1977 годах.

Авторы надеются, что эта книга явится данью нашего уважения к памяти Сергея Федоровича Аверьянова и будет полезной для всех ученых, занимающихся проблемами мелиорации земель.

Айдаров И.П.

*«Мы можем считать
существенным лишь то, что
является эмпирическим
обобщением»*

Нильс Бор

Предисловие

Серьезные проблемы во взаимодействии человека и природы возникли еще в XVII веке, когда человечество столкнулось с неожиданным фактом - возможности развития экономики безграничны, в то время как возможности природы жестко ограничены. Первым, кто оценил опасность противостояния человека и природы, был Мальтус, который сформулировал закон убывания естественного плодородия почв. В экономике этот вывод Мальтуса известен, как закон убывающей отдачи. В 30-е годы прошлого века в СССР этот закон был признан реакционным, так как он противоречил основам марксизма-ленинизма, утверждавшим, что ни в природе растений, ни в почвах не заложены ограничения для интенсивной эксплуатации природных ресурсов и получения все возрастающих урожаев сельскохозяйственных культур. Такой подход к использованию природных ресурсов был необходим в те времена для обоснования возможности неограниченного увеличения продуктивности сельскохозяйственного производства в кратчайшее время и без больших затрат.

Широкое распространение партийной идеологии привело к политизации сельскохозяйственной науки. Вмешательство политики в дела науки лишало последнюю творческой свободы и сводило науку на положение простой исполнительницы политических решений Партии. Сессия ВАСХНИЛ 1948 года, о которой уже много написано, не только «разгромила» отечественную генетику, но и дала повод для жесткой критики мелиорации земель. Гонение на мелиоративную науку происходило под флагом критики с так называемым реакционным научным направлением, развиваемым А.Н. Костяковым. Это направление предусматривало не покорение природы, как этого требовала Партия, а земельные улучшения. В своем капитальном труде «Основы мелиораций» (1951 г) Костяков утверждал, что основной целью мелиорации земель является совместное управление направлением и скоростью биологического и геологического круговоротов.

Сторонники «передового учения», основанного на идеях покорения природы, то ли по незнанию, то ли намеренно, из конъюнктурных соображений, не принимали во внимание, что нарушение взаимосвязанных биологического и геологического круговоротов неизбежно приводит к загрязнению и ухудшению состояния природной среды. В связи с этим, в период до 1950 г под партийным давлением было принято много необоснованных и даже вредных для страны решений и проектов, существенно

дискредитировавших мелиорацию как отрасль: широкое развитие орошения в черноземной зоне, попытки возделывания хлопчатника в Крыму и др. Все эти мероприятия не привели к желаемым результатам.

Начиная с 50-х годов XX века, когда мелиоративная наука в известной степени освободилась от вмешательства политики, началось интенсивное ее развитие. В период с 1950 по 1960 гг. учеными Московского гидромелиоративного института (МГМИ) был выполнен ряд фундаментальных теоретических разработок в области изучения природных процессов и влияния на них антропогенной деятельности. Исследования включали разработки в области теории движения подземных вод в насыщенных и ненасыщенных пористых средах, осушающего и рассоляющего действия горизонтального дренажа, фильтрации из каналов оросительных систем и динамики плодородия почв. Результаты выполненных лабораторных исследований подтвердили достаточную точность математических моделей и возможность их практического использования. На основании полученных результатов были разработаны методы составления долгосрочных прогнозов изменения состояния природной среды под влиянием антропогенной деятельности. Это был важный шаг в развитии мелиоративной науки, позволивший подойти к решению проблем управления природными процессами в целях развития сельскохозяйственного производства.

Обобщение выполненных теоретических исследований показало, что содержание проблемы мелиорации – суть управление биологическими, социально-экономическими и экологическими процессами. Стало ясно, что в качестве методологической основы управления природными процессами необходимо использовать системный анализ. При этом следует учитывать, что природные системы относятся к объектам, которые нельзя свести к сумме отдельных частей, как это делали до сих пор. Природные системы – объекты, состоящие их ряда взаимосвязанных компонентов. Состояние системы определяется ее интегральными характеристиками, в функционировании системы основную роль играют связи между компонентами. Таким образом, изучение отдельных компонентов природных систем или отдельных факторов, определяющих состояние объекта, недостаточно для решения проблемы рационального использования природных ресурсов.

Новое, более широкое понятие мелиорации земель было воспринято научной общественностью неоднозначно. Последовало много возражений, основанных на непонимании сущности проблемы и нежелании изменения традиционно сложившихся представлений.

В середине 50-х годов XX века началось широкое развитие мелиоративного и водохозяйственного строительства в республиках Средней Азии и

Закавказья, а в середине 60-х годов – в Российской Федерации и Украине. Начатые мелиоративные работы характеризовались высокими темпами строительства, вводом крупных массивов орошаемых земель, стремлением создания мелиоративных систем, обеспечивающих получение плановой продукции. Эти важные народно-хозяйственные проблемы потребовали новых подходов и новой системы нормативно-методических документов, которые в этот период практически отсутствовали. Имеющиеся теоретические разработки, выполненные в МГМИ, не прошли широкой опытно-производственной проверки, не были оформлены в виде нормативно-методических документов и вызвали у специалистов большие сомнения в их обоснованности и возможности практического использования. Основными причинами этого были сложность расчетов и необходимость проведения большого объема изысканий.

В связи с этим, в основу проектирования крупных массивов орошаемых земель, как в Средней Азии, так и в европейской части СССР был положен существующий многовековой опыт орошения в аридной зоне. Так поступать было нельзя, так как условия вновь осваиваемых земель коренным образом отличались от традиционных районов орошения. Последствия такого шаблонного переноса имеющегося опыта орошения на другие условия не заставили себя долго ждать. Спустя 10 лет после начала широкого развития мелиорации руководители Минводхоза СССР заговорили о том, что

мелиорация во многих случаях сопровождается негативным влиянием на природную среду. Если перевести эти заявления на русский язык, то получалось, что улучшение природной среды сопровождается ухудшением природной среды !? С.Ф. Аверьянов неоднократно обращал внимание на эту несуразицу. Не мелиорация, как таковая, приводит к ухудшению состояния природной среды, а недостаточно обоснованные подходы и непродуманная система применяемых мероприятий.

В 1962-1963 годах проектные институты Гипроводхоз и Средазгипроводхлопок, а в 1970 году – Южгипроводхоз и Волгогипроводхоз обратились к С.Ф. Аверьянову с просьбой организовать и провести широкие опытно-производственные исследования с целью проверки имеющихся теоретических разработок и создания нормативно-методической документации, необходимой для обоснования широкомасштабного развития мелиорации земель. Опытно-производные исследования были организованы и проведены коллективом кафедры сельскохозяйственных мелиораций в период с 1962 по 1977 годы в разных природных зонах страны. В пустынной зоне исследования выполнялись в Ферганской долине (Канибадамский массив) и в Голодной степи (совхоз № 5). В сухостепной зоне объектом исследований была Кисловская оросительная система в Волгоградской области, степной зоне – Приморская и Азовская оросительные системы в Ростовской области.

Общее руководство исследованиями осуществлял заслуженный деятель науки и техники РСФСР, доктор технических наук, профессор, академик ВАСХНИЛ Сергей Федорович Аверьянов. После 1972 г. общее руководство исследованиями осуществлял И.П. Айдаров.

В полевых исследованиях и лабораторных работах в качестве начальников экспедиций, отрядов и исполнителей в разное время участвовали многие сотрудники кафедры сельскохозяйственных мелиораций, Проблемной лаборатории, аспиранты и студенты института. Объем и значение исследований были настолько значительны, что результаты их послужили основанием для защиты многочисленных кандидатских и докторских диссертаций. Результаты исследований до сих пор используются научными работниками не только российскими, но и стран ближнего и дальнего зарубежья.

В составе экспедиций работали молодые техники, научные работники и аспиранты МГМИ, многие из которых стали инженерами, кандидатами и докторами наук, профессорами.

Фамилия, и. о.	1962-77 гг.	После 1977 г.
Брусенцев В.Ф.	К.т.н.	Профессор
Айдаров И.П.	К.т.н.	Д.т.н., проф, академик РАСХН

Реутская Н.Н.	К. геол-мин н.	Доцент
Пинской И.К.	К.с-х н.	
Дегтярев Б.М.	К.т.н.	Д.т.н.
Харламов М.П.	Научный сотрудник	К.с-х н.
Харламова Л.Ф.	Научный сотрудник	К.с-х н.
Ваничкина С.И.	Научный сотрудник	К.т.н.
Хачатурьян В.Х.	аспирант	К.т.н.
Рекс Л.М.	аспирант	Д.т.н. проф.
Корольков А.И.	Научный сотрудник	К.т.н., доцент
Пестов Л.Ф.	Научный сотрудник	К.т.н., проф.
Баженов М.	аспирант	К.т.н.
Давидченко Н.Н.	аспирант	К.т.н.
Дворкин Б.Б.	Научный сотрудник	
Толчков С.М.	Научный сотрудник	
Каримов Э.К.	аспирант	Д.т.н.
Зарубаев Г.	аспирант	К.т.н.
Слипченко А.А.	аспирант	К.т.н.
Королькова Т.П.	Научный сотрудник	Ст. преподаватель
Цинкер П.А.	Научный сотрудник	
Швецов Н.В.	Научный сотрудник	
Старых М.Н.	Научный сотрудник	

Колпакова Е.В.	Научный сотрудник	
Седова Е.	Научный сотрудник	
Вехов В.П.	Ст. техник	Инженер
Бурнос Г.М.	Учебный мастер	
Маргун Г.И.	Ст. техник	Инженер
Маргун Э.С.	Ст. техник	Инженер
Хегай Н.Ф.	Лаборант	
Косинова Г.А.	Ст.техник	Инженер
Гурова Г.Н.	Техник	
Блохина Н.А.	Ст.техник	
Панова Л.П.	Техник	
Демина К.	Техник	
Григорян С.Н.	Техник	Инженер
Соломатина Л.Г.	Лаборант	
Елоев Ю.	Ст. техник	
Сацукевич В.	Ст. техник	
Сацукевич Вит.	Ст. техник	
Кузнецов А.В.	Ст. техник	
Кузнецова С.	Ст. техник	
Розова М.	Ст. техник	Почвовед - агрохимик
Хакимов А.	Аспирант	К. т. н.
Курбанов М.	Ст. техник	Инженер

Кроме того, в работе экспедиций принимали участие в качестве лаборантов, техников и квалифицированных рабочих местные жители.

В основу данной работы положены результаты полевых и лабораторных исследований на опытно-производственных участках в Средней Азии, Поволжье и Ростовской области. Все практические рекомендации, разработанные на основе исследований, вошли в состав Ведомственных строительных норм и правил. По материалам исследований сотрудниками, аспирантами и докторантами кафедры было подготовлено и защищено 5 докторских и более 12 кандидатских диссертаций.

Глава 1

Состояние орошаемого земледелия в Средней Азии в конце XIX и начале XX веков

Предложения об организации и проведении многолетних опытно-производственных исследований в Средней Азии были восприняты молодыми сотрудниками и аспирантами с большим энтузиазмом. Всем хотелось как можно быстрее приступить к полевым исследованиям. Однако С.Ф. Аверьянов потребовал сначала разработать комплексную программу и методологию опытно-производственных исследований. Программа, по его мнению, должна включать несколько разделов:

- анализ природных условий бассейна Аральского моря;

- анализ многовекового опыта орошения и освоения земель региона и оценку возможности переноса существующего опыта орошения земель на современные условия;

- развитие орошения земель в бассейне Аральского моря в 1935-1960 годах;

- опыт применения дренажа и промывок для борьбы с засолением орошаемых земель;

- обоснование целей и задач опытно-производственных исследований, подбор и подготовка

научно-технических кадров для проведения исследований.

Работа над программой заняла достаточно много времени. Пришлось проработать большой объем литературы, изучить основы системного анализа, обобщить данные по климату, гидрогеологическим, геохимическим, почвенно-мелиоративным условиям и оценить роль различных природных факторов в функционировании системы бассейна Аральского моря. Кроме того, был изучен существующий опыт и методы гидрометеорологических, гидрогеологических, почвенно-мелиоративных и экологических исследований. Разработчики программы подолгу задерживались по вечерам в кабинете у Сергея Федоровича и обсуждали основные вопросы программы и методики исследований. Постепенно становились понятными цели и задачи будущих исследований.

Целью опытно-производственных исследований было не только и не столько проверка математических моделей, сколько изучение процессов функционирования природных систем и методов управления ими. Сергей Федорович, как выдающийся и дальновидный ученый прекрасно понимал, что в ближайшей перспективе начнется широкомасштабное развитие мелиорации земель в европейской части страны, в условиях совершенно отличных от среднеазиатских. Основные положения разработанной программы в последствии были использованы при

проведении исследований в сухостепной и степной зонах европейской части страны с учетом местных условий.

1.1. Анализ природных условий бассейна Аральского моря.

Анализ природных условий приводится на период 1920-1950 годов, то есть до широкого развития мелиоративного и водохозяйственного строительства, когда влияние антропогенной деятельности практически не сказывалось на состоянии бассейна, а Аральское море еще существовало в первоизданном виде.

Бассейн Аральского моря занимает значительную часть территорий республик Средней Азии и Северного Казахстана и представляет собой бессточный регион, ограниченный на юге и востоке горными хребтами Копет-Дага, Тянь-Шаня и Памира. На западе он граничит с Каспийским морем, на севере – с равнинными просторами казахских степей. Общая площадь бассейна 158 млн. га, из которых на территорию СССР приходится 126 млн. га [71].

В орографическом отношении бассейн Аральского моря делится на две части: западную – Туранскую равнину и восточную, занятую горами Тянь-Шаня и Памира. Основные черты рельефа региона – горные районы, межгорные впадины, наклонные подгорные равнины, окаймляющие подножья гор в виде

узкой полосы, и низменности. Подгорные равнины являются наиболее обжитой зоной.

В геологическом отношении горные массивы Тянь-Шаня и Памира относятся к подвижной системе, подверженной современным процессам поднятия. Туранская равнина с конца палеозоя – начала мезозоя развивалась, в основном, по платформенному типу. Особенности геологического строения определили не только гидрогеологические и геохимические процессы, но и климат, водные ресурсы и почвенно-мелиоративные условия. Современное поднятие гор Тянь-Шаня и Памира поддерживает более или менее постоянную интенсивность процессов разрушения и выноса обломочного материала и химических элементов в предгорную часть и на равнины, где происходит их дальнейшая дифференциация. Снос обломочного материала из горных районов, потоки воды и наносы рек Сырдарья и Амударья сыграли основную роль в формировании геолого-литологического строения и геохимических условий в предгорной части и в низменной равнине [71, 72, 73].

В гидрогеологическом отношении в пределах бассейна Аральского моря выделяют:

- зону поглощения поверхностных вод и осадков, расположенную в горах и верхних частях конусов выноса. Эта зона сложена галечниками и характеризуется глубоким залеганием ($> 10-50$ м) пресных грунтовых вод;

- зону выклинивания подземных вод, занимающую узкую полосу в нижних частях подгорных равнин и конусов выноса. Эта зона характеризуется близким залеганием уровня грунтовых вод и формированием плодородных луговых почв (при пресных грунтовых водах) или сазовых солончаков (при минерализованных грунтовых водах);

- зону вторичного погружения грунтовых вод, расположенную на плоских предгорных равнинах. Это зона аккумуляции солей в породах зоны аэрации и грунтовых водах. Грунтовые воды минерализованы (5-10 г/л) и залегают на глубине 5-10 м. В этой зоне формируются автоморфные сероземные почвы;

- зону низменных пустынь. Это зона разгрузки подземных вод, аккумуляции водно-растворимых солей и формирования засоленных почв и солончаков. Грунтовые воды, в зависимости от геоморфологических условий, залегают на глубине 2-20 м и имеют минерализацию до 50 г/л;

- зону питания аллювиальных отложений речными водами, приуроченную к речным долинам в среднем и нижнем течении рек. Эта зона характеризуется близким залеганием (0,5-2 м) пресных грунтовых вод и формированием азональных незасоленных луговых почв [18, 25, 32, 33, 38, 39, 40, 68, 74].

Основные черты климата бассейна Аральского моря – это обилие тепла, чрезвычайная засушливость и континентальность. Для равнинной части региона характерна широтная, а для горной – вертикальная зональность в распределении основных климатических характеристик. Это обстоятельство является наиболее важным, так как определяет особенности природных условий. Суммы активных температур в равнинной части бассейна возрастают с севера на юг с 3000 до 5600⁰С. В горной части суммы активных температур не превышают 2000-4000 ⁰С, в зависимости от высоты местности. Сумма атмосферных осадков в равнинной части бассейна составляет 75-300 мм, в горной части – 800-1400 мм и более. Рис.1.1

Имеющиеся данные показывают, что Аральское море снижает засушливость климата только в нижнем течении рек Амударьи и Сырдарьи [11, 71, 73, 74].
Рис.1.2

Растительный покров в бассейне определяется особенностями гидротермического режима. Туранская ботаническая провинция характеризуется бедным разреженным растительным покровом. В предгорной и горной зонах биологическое разнообразие растительного покрова определяется вертикальной зональностью. Наиболее богатая тугайная растительность приурочена к долинам рек [11, 74].

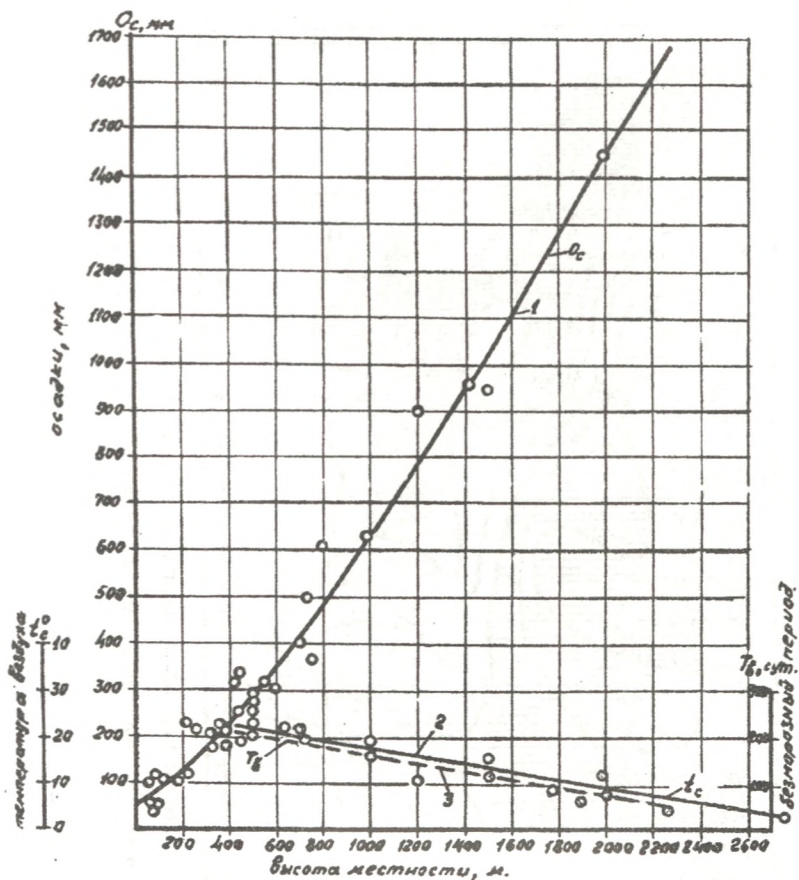


Рис. 1.1 Зависимость величины осадков (1), температур воздуха (2), и продолжительности безморозного периода (3) от высоты местности.

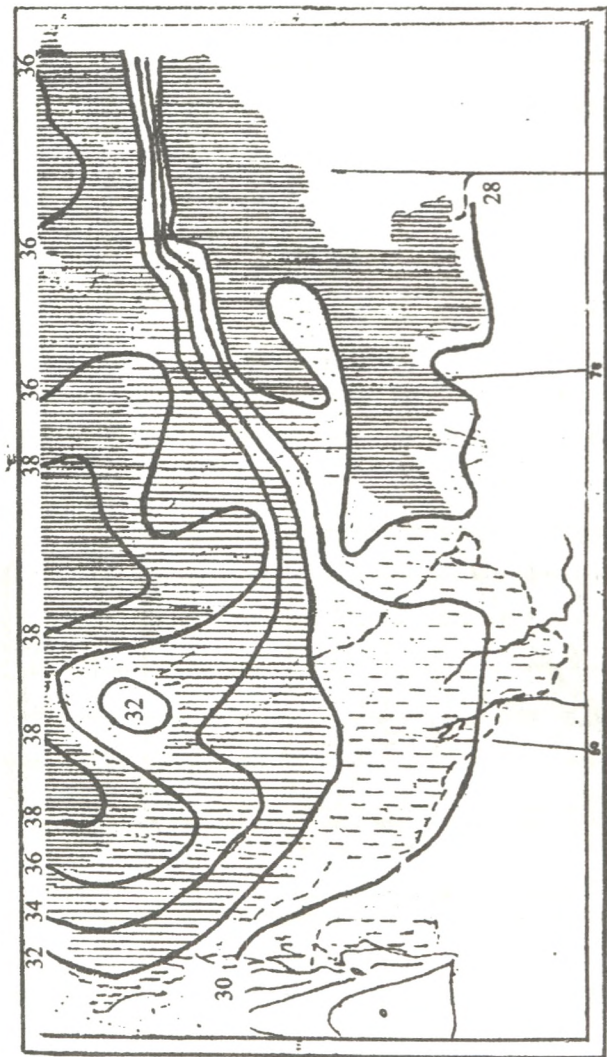


Рис. 1.2 Влияние Аральского моря на континентальность климата

— 32 — Разница температур июля и января.

Основные речные бассейны рассматриваемого региона (Амударья, Сырдарья, Теджен, Мургаб) отличаются тем, что только средняя и нижняя часть их бассейнов размещается непосредственно в аридной зоне. Горная часть бассейнов этих рек располагается в зоне избыточного увлажнения. В связи с этим, горные части бассейнов являются зоной формирования твердого, жидкого и геохимического стока, а средняя и нижняя части – зоной отложения наносов и рассеивания стока. Русла рек в среднем и нижнем течении расположены выше окружающей территории и являются источником питания подземных вод этих территорий. В соответствии с особенностями формирования и рассеивания речного стока, минерализация речных вод в естественных условиях возрастала от истоков до выхода на равнину, ниже по течению она оставалась постоянной. Общий объем поверхностного и подземного стока составляет 146 км^3 в год, из которых около 80 % приходится на реки Сырдарья и Амударья. Эксплуатационные запасы подземных вод, не связанных с речным стоком, по данным различных авторов, составляют от 31 до 45 км^3 в год [78]. Для рек бассейна характерно благоприятное внутригодовое распределение стока, большая часть речного стока приходится на вегетационный период. Коэффициент вариации стока не превышает 0,2-0,3, поэтому высокая степень использования водных ресурсов возможна при строительстве водохранилищ сезонного и многолетнего регулирования.

Почвенный покров бассейна подчинен климатической зональности. В центральной, наиболее засушливой части преобладают песчаные почвы пустынь, серо-бурые почвы, такыры и солончаки. В пределах подгорных пролювиально-аллювиальных равнин распространены различные типы автоморфных сероземных почв. Почвы гидроморфного ряда – сероземы, луговые незасоленные почвы речных долин, луговые почвы различной степени засоления и солончаки занимают самые пониженные территории. В горной части почвенный покров представлен коричневыми горно-каштановыми, горно-черноземными и лесными почвами. Туранская низменность является зоной современного соленакопления, в связи с чем, практически все почвы равнины засолены или потенциально опасны с точки зрения развития вторичного засоления при орошении. В автоморфных условиях, как правило, в верхнем 1-2 м слое почвы не засолены, а в гидроморфных условиях – засолены с поверхности. Однако, и в том и в другом случаях породы зоны аэрации и грунтовые воды содержат большое количество водно-растворимых солей, запасы которых постоянно пополняются. Исключение из общего правила составляют почвы, формирующиеся в сазовой зоне, в речных долинах и сухих дельтах на пресных грунтовых водах. [18, 32,33, 38, 39, 42, 46, 55, 57, 67, 68, 71, 73, 74].

Выполненный анализ позволяет говорить о том, что бассейн Аральского моря, несмотря на

существенные различия между отдельными его частями, представляет собой единую природную систему, горная и равнинная части которой связаны между собой потоками вещества и энергии. Водный и геохимический балансы Туранской равнины можно описать уравнениями:

$$\Delta W = O_c + \Pi - E \quad (1.1)$$

$$\Delta G = G_c + G_n, \quad (1.2)$$

где: ΔW и ΔG – изменение запасов влаги и солей, м^3 , т; O_c и G_c – атмосферные осадки и поступление солей, м^3 , т; Π и G_n – поверхностный и подземный приток воды и солей со стороны гор, м^3 , т; E – испарение, м^3 .

В уравнениях (1.1 и 1.2) отсутствуют поверхностный и подземный отток воды и солей за пределы Туранской равнины, ввиду ее бессточности. Поступление воды с атмосферными осадками оценивается по метеорологическим данным [11, 35, 71, 72, 73, 74, 76, 78].

$$O_c = \omega \cdot S = 2450 \times 88 \ 200 \ 000 = 216 \ \text{км}^3/\text{год}$$

Сумма атмосферных осадков – 245 мм, площадь Туранской равнины – $126 \times 0,7 = 88,2$ млн. га.

Для оценки величины (Π) использованы данные радиационного баланса и суммы атмосферных осадков

горной зоны. Величина подземного притока определена как разность между суммой атмосферных осадков и величиной испарения. Для оценки величины испарения использовано выражение [1, 28, 53].

$$E = 1 - \exp(-\bar{R}), \quad (1.3)$$

где: $\bar{R} = \frac{R}{LO_c}$; R – радиационный баланс, кДж/см² год; O_c – сумма атмосферных осадков, см; L – скрытая теплота парообразования, кДж/см³.

При среднегодовом величинах $R = 70$ и $O_c = 110$, величина $\bar{R} = 0,65$. Следовательно, сток составит $(1 - 0,65)O_c = 385$ мм/год. Общий сток со стороны гор $\Pi = 3850 \times 37\,800\,000 + 146$ км³/год. Площадь горной части составляет $126 \times 0,3 = 37,8$ млн. га. При среднегодовом стоке рек Амударья и Сырдарья равном 116 км³/год запасы подземных вод, не связанных с поверхностным стоком, составляют $146 - 116 = 30$ км³/год. Величина испарения с поверхности Туранской равнины складывается из испарения с поверхности рек и Аральского моря, испарения с поверхности земель с различным уровнем залегания грунтовых вод и составляет 359 км³/год. Таким образом, водный баланс Туранской равнины составляет

$$\Delta W = 216 + 146 - 359 = 3 \text{ км}^3/\text{год}$$

Из расчета видно, что составляющие водного баланса определены достаточно точно.

Поступление солей с атмосферными осадками в пределы Туранской равнины

$$G_c = 216 \times C_0 = 216 \times 0,025 = 5,4 \text{ млн. т/год.}$$

Здесь C_0 – минерализация атмосферных осадков, г/л [15].

Поступление солей с поверхностным и подземным притоком со стороны гор

$$G_n = 146 \times C_n = 146 \times 0,5 = 73 \text{ млн. т/год}$$

Здесь C_n – минерализация поверхностных и подземных вод г/л.

Общее поступление солей равно $73 + 5,4 = 78,4$ млн. т/год.

Полученные данные подтверждают вывод о том, что Туранская равнина является зоной современного соленакопления, но это было давно известно. Гораздо важнее рассмотреть, каким образом соли распределяются по территории равнины. При среднемноголетнем объеме стока рек Сырдарья и Амударья равном $116 \text{ км}^3/\text{год}$, в море поступает $80 \text{ км}^3/\text{год}$. Остальной сток рассеивается в среднем и нижнем течении рек и испаряется в дельтах. Таким образом, в Аральское море поступает $80 \times 0,5 = 40$ млн. т солей в год. Учитывая постоянство минерализации воды Аральского моря, поступающий геохимический сток усваивается водными экосистемами и полностью

выводится из активного геохимического оборота. Кроме того, часть солей (примерно 5 млн. т/год) аккумулируется в естественных понижениях (Арнасай, Сарыкамыш, Тузкане и др.) и также выводится из активного оборота. Следовательно, в покровных отложениях и грунтовых водах Туранской равнины аккумулируется всего $78,4 - 40 - 5 = 33,4$ млн. т/год (43 % от общего поступления). Интенсивность накопления солей в 20-метровой толще покровных отложений и грунтовых водах составляет 0,0002 % в год.

Практический интерес представляет анализ связи климатических показателей с биоразнообразием и продуктивностью экосистем. Обобщение имеющихся данных показывает, что биоразнообразие и продуктивность зависят от климатического разнообразия [28, 29, 35, 50, 57, 59, 62, 66, 71, 73, 74, 76]. Таблица 1.1.

Таблица 1.1

Связь климатических и экологических показателей

Зона бассейна	Вариация климатических показателей, C_v		Биоразнообразие, %	Продуктивность, т/га
	Осадки	Сумма $t, ^\circ C$		
Горная	0,4	0,10	100	3-10
Подгорная	0,3	0,06	25	1,5-3
Центральная	$\leq 0,2$	0,04	5-10	$\leq 0,5$

Выполненный краткий анализ природных условий бассейна Аральского моря не является исчерпывающим, он необходим для оценки природных характеристик, имеющих отношение к мелиорации и сельскохозяйственному использованию земель. Приведенные материалы позволяют сделать следующие обобщения:

- земли бассейна Аральского моря, за исключением речных долин и верхних частей конусов выноса, являются потенциально опасными с точки зрения развития процессов вторичного засоления при нарушении гидрогеологических и геохимических условий;

- Аральское море и естественные понижения являются регуляторами геохимических потоков, изменение акватории Аральского моря усилит процессы накопления солей в покровных отложениях и грунтовых водах Туранской равнины;

- Аральское море является также регулятором термического режима значительной части земель бассейна. Изменение состояния моря усилит континентальность прилегающих к нему территорий;

- биоразнообразие растительного покрова и его продуктивность снижаются по мере увеличения засушливости территории и уменьшения климатического разнообразия. В этом же направлении снижается и устойчивость экосистем, что должно

учитываться при сельскохозяйственном освоении земель и использовании естественных пастбищ.

1.2. Анализ многолетнего опыта орошения земель в бассейне Аральского моря.

В Средней Азии орошение земель возникло в V-IV тысячелетии до н. э. и было сосредоточено в пределах предгорных зон и конусов выноса (Ферганская долина, Туркмения), речных долин в среднем и нижнем течении рек (Амударья, Или, Чу и др.), сухих дельт (Зеравшан, Мургаб, Теджен, Атрек, Кашкадарья и др.) [6, 7. 19, 22, 26].

Эти регионы отличались наличием водных ресурсов, возможностью самотечного забора воды из родников и русел рек, возможностью использования пресных подземных вод в сельском хозяйстве, благоприятными агроклиматическими условиями ($\bar{R} \leq 1-1,5$) и наличием плодородных незасоленных аллювиальных, луговых и сероземных почв, формирующихся под тугайной растительностью на пресных грунтовых водах.

Среднее и нижнее течение реки Сырдарья долгое время не осваивалось по причине широкого распространения болот и плавней.

Особенности геоморфологических, гидрогеологических и почвенно-мелиоративных условий и требования водного законодательства определили технические схемы и конструкции оросительных систем. В целом, существующие в те времена оросительные системы не только обладали высоким уровнем организованности и технологичности, обеспечивали не только экономное и эффективное использование водных ресурсов, надежное регулирование водного и солевого режимов и балансов, но и способствовали сохранению экологического равновесия территорий. Строительство и эксплуатация этих сложных оросительных систем обеспечивались работниками специальных служб.

Крупным достижением этого времени было создание свода законов, регулирующих эффективное и экономное использование водных ресурсов.

В XIX веке, водное право, действовавшее в Средней Азии, включало следующие статьи [30]:

1. Как по адату, так и по шариату, вода – дар Божий; поэтому она не может быть собственностью кого бы то ни было, за исключением воды, собранной в тот или иной сосуд, приготовленный средствами данного лица. В этом последнем случае вода делается собственностью того, кто ее собрал.

2. Продавать и покупать воду нельзя!!!

3. Кто желает пользоваться водой для орошения, тот должен непременно участвовать во всех работах по проведению воды и поддержанию системы в должном порядке.

4. Права лиц на воду, протекающую через их землю, передаются тому, кто стал собственником земли.

5. Вода без земли подаваема быть не может.

6. При недостатке воды для орошения всех посевов, вода должна быть разделена поровну между хозяевами.

7. Для каждого участника должна быть установлена очередь подачи воды по жребью.

8. При недостатке воды, воду должны прежде всего получать владельцы земель, кои сидят ниже по течению, а затем те, кои сидят выше!!

9. Всякая кража воды, путем ли отвода ее не в очередь или в большем, чем это следует количестве, считается преступлением и карается.

10. Всякое заграждение воды в арыках для устройства мельниц или толчей нуждается в позволении того лица и общества, кому принадлежит право на воду, протекающую через его землю.

11. Насаждение различных деревьев по берегам арыков считается неотъемлемым правом владельцев воды.

12. Для управления водою, идущей на орошение земель сельского общества, выбирается мираб из числа уважаемых и отличающихся физической силою односельчан [30].

Все эти жесткие требования, регламентирующие водопользование и водопотребление, были продиктованы, во-первых, дефицитом водных ресурсов в аридной зоне и, во-вторых, заботой о населении и сохранении плодородия почв и они неукоснительно выполнялись. Более того, эти требования способствовали строительству хорошо организованных и высоко технологичных оросительных систем с замкнутым водооборотом.

Конструктивно оросительные системы в предгорной зоне и их конусах выноса (сазовая зона) представляли собой систему естественных водотоков глубиной 1-1,5 м, которые одновременно выполняли роль оросительной и дренажной сети и обеспечивали поддержание естественного гидроморфного режима. Вода на поля подавалась с помощью примитивных водоподъемных устройств (чигири, нории и др.). Такая конструкция оросительных систем не только обеспечивала сохранение естественного гидроморфного режима, но и создавала возможность использования растениями пресных грунтовых вод.

Для оценки влияния орошения и освоения земель на гидрогеологические и гидрохимические условия, рассмотрим водный и солевой балансы для

естественных и измененных в результате орошения условий [40].

Водный баланс. Для естественных условий:

$$\Delta W_0 = O_c + \Pi_0 - O_0 - E_0 \quad (1.4)$$

Для орошаемых земель:

$$\Delta W_1 = O_c + \Pi_1 - O_1 - E_1 \quad , \quad (1.5)$$

где: ΔW_0 и ΔW_1 - изменение запасов влаги в расчетном слое, мм; O_c - сумма атмосферных осадков, мм; Π_0 и Π_1 - подземный приток, мм; O_0 и O_1 - подземный отток, мм; E_0 и E_1 - испарение и эвапотранспирация, мм.

Чтобы оценить изменение водного баланса после орошения, вычтем из выражения (1.5) уравнение (1.4), тогда:

$$\Delta W_0 = (\Pi_1 - \Pi_0) - (O_1 - O_0) - (E_1 - E_0) \quad (1.6)$$

В связи с тем, что естественный уровень грунтовых вод при орошении сохранялся, величина $O_1 = O_0$. Приток подземных вод при орошении также не менялся, просто та же вода «размазывалась» по площади, то есть $\Pi_1 = \Pi_0$. Сложнее обстояло дело с испарением и эвапотранспирацией в естественных условиях и при орошении. Анализ многочисленных данных показывает, что испарение тугайной растительностью и испарение сельскохозяйственными

растениями примерно одинаково, то есть $E_1 \cong E_0$ [44, 75].

Таким образом, $\Delta W_0 = 0$, что говорит о сохранении естественного водного баланса при орошении.

Так же обстоит дело и с солевым балансом:

$$\Delta G_0 = G_{Oc} + G_{\Pi_0} - G_{O_0} \quad (1.7)$$

$$\Delta G_1 = G_{O1} + G_{\Pi1} - G_{O1} \quad (1.8)$$

где: ΔG_0 и ΔG_1 - изменение содержания солей в расчетном слое до и после орошения, т/га;
 G_{Oc} - привнос солей с атмосферными осадками, т/га;
 G_{Π_0} и G_{Π_1} - привнос солей подземными водами, т/га;
 G_{O_0} и G_{O1} - вынос солей с подземным оттоком, т/га;

$$\Delta G_2 = (G_{\Pi_1} - G_{\Pi_0}) - (G_{O1} - G_{O_0}) \quad (1.9)$$

Поскольку величины $O_1 = O_0$, $\Pi_1 = \Pi_0$ и минерализация подземных вод остается постоянной во времени, то солевой баланс после орошения также не изменяется $\Delta G_2 = 0$. Отсутствие опасности засоления орошаемых почв подтверждается результатами многочисленных исследований [39, 46, 74].

Очень важной особенностью оросительных систем в этих зонах являлась возможность

использования пресных грунтовых вод, что позволяло снизить до минимума величины оросительных норм нетто.

Применяемые схемы и конструкции оросительных систем и техники полива (заглубленные каналы, полив затоплением и по коротким бороздам и джоякам) обеспечивали высокий коэффициент полезного действия системы каналов (КПД) и коэффициент использования воды (КИВ). Дело в том, что фильтрация из оросительных (заглубленных) каналов отсутствовала, а потери воды на полях, поступающие в грунтовые воды, снова подавались на поля. Таким образом, КПД и КИВ этих систем были равны ~ 1.

Вместе с тем, замена тугайной растительности на агроценозы сопровождалась изменением баланса органического вещества и плодородия почв. Имеющиеся данные показывают, что при сохранении естественного гидроморфного режима и внесении органических удобрений в количестве 4-5 т/га в год, содержание гумуса при орошении не только не уменьшается, но даже несколько возрастает, а значит увеличивается не только экономическое, но и естественное плодородие почв [24, 32, 57, 67, 68, 74]

Речные долины и сухие дельты. Эти районы древнего орошения по своим гидрологическим, геохимическим и почвенно-мелиоративным условиям

отличаются от сазовой зоны. Основные отличия заключаются в следующем:

- источниками орошения являлись не подземные, а поверхностные (речные) воды, минерализация которых была ниже, чем минерализация грунтовых вод;

- надежность водообеспеченности и стабильность сельского хозяйства на орошаемых землях была значительно ниже, чем в сазовой зоне, в связи с колебаниями объема речного стока, уровней воды в реках и русловыми процессами, существенно затрудняющими самотечный водозабор и создающими опасность разрушения оросительных систем в результате размыва берегов (дейгиша);

- почвенный покров был представлен в основном аллювиальными незасоленными почвами, плодородие которых выше, чем почв сазовой зоны. Это связано с поступлением речных наносов, содержащих большое количество органических веществ. Соответственно потребность в удобрениях при орошении и сельскохозяйственном использовании этих почв была ниже, чем в почвах сазовой зоны.

Указанные особенности природных условий определили конструкцию оросительных систем и технологию орошения. Водозабор из реки осуществлялся самотеком в крупные каналы, а распределение воды по площади – по каналам глубиной

~ 1,5 м, расположенным через 20-80 м, которые служат одновременно оросительной и дренажной сетью. На поля воду подавали с помощью примитивных водоподъемных устройств (чигири, нории), полив осуществлялся затоплением и по коротким тупым бороздам. Равномерность увлажнения почв обеспечивалась идеальной планировкой отдельных частных участков. Такая конструкция оросительных систем и технология полива обеспечивали сохранение естественного гидроморфного режима и высокую эффективность использования воды; КПД и КИВ были равны ~ 1, как и на оросительных землях сазовой зоны.

Водный и солевой балансы орошаемых земель речных долин и сухих дельт складывались также как и на орошаемых землях сазовой зоны. Постоянство минерализации оросительных и грунтовых вод определялось минерализацией речных вод и фильтрацией речных вод в толщу аллювиальных отложений. Опасность засоления орошаемых земель была исключена, поскольку толща аллювиальных отложений вдоль реки на глубину 20-50 м была опреснена под влиянием фильтрации речных вод.

По-особому складывалось и формирование плодородия орошаемых почв. Поступление с оросительной водой речных наносов, содержащих органические вещества, способствовало накоплению гумуса в почвах. При поступлении наносов мощностью

1-2 мм в год (15-30 т/га), содержание гумуса увеличивалось на 0,3-0,6 т/га в год.

Заканчивая краткое обобщение опыта, необходимо констатировать:

- орошение в Средней Азии до конца XIX века было сосредоточено в зонах незасоленных и не подверженных засолению почв. Существующее орошаемое земледелие на площади 2 млн. десятин не оказывало практически никакого влияния на состояние природных ресурсов бассейна Аральского моря. Объем водопотребления на орошение не превышал 2-3 км³/год, засоление орошаемых земель отсутствовало, плодородие орошаемых почв не снижалось;

- древние оросительные системы работали по принципу замкнутого водооборота, обеспечивающего наиболее эффективное использование водных, земельных и биологических ресурсов;

- никакого опыта орошения и освоения засоленных или подверженных засолению земель в государствах Средней Азии не было. По существу, развитие орошения засоленных и подверженных засолению земель началось после присоединения Туркестана к России. Поэтому не удивительно, что при развитии орошения были допущены ошибки и просчеты, которые, к сожалению, не были проанализированы.

Основной целью широкого развития орошения земель в Средней Азии в начале XX века было создание собственной базы производства хлопка-волокна и избавление российской текстильной промышленности от импортного сырья. Однако к этому времени практически все незасоленные и не подверженные засолению земли были уже освоены, а структура их использования не отвечала поставленной цели. Содержание хлопчатника в посевах не превышало 10-25 %, остальные орошаемые земли были заняты зерновыми и кормовыми культурами.

Расширение площадей орошаемых земель можно было осуществить за счет орошения и освоения земель с глубоким залеганием минерализованных грунтовых вод и засоленными подстилающими породами, то есть за счет земель потенциально опасных с точки зрения развития процессов вторичного засоления. Широкому развитию орошения земель способствовало наличие дешевой рабочей силы, достаточных объемов водных ресурсов и возможности их неограниченного использования. Известный климатолог А.И. Воейков в 1908 г писал: «В отдаленном будущем при желательных успехах гидротехнического дела и сельского хозяйства мы должны воспользоваться всей водой бассейна Арала в маловодные годы для искусственного орошения. Озеро должно служить для стока излишней воды в многоводные годы». [20]. Эти рекомендации тогда казались вполне разумными, никто не оценивал возможных последствий широкого развития орошения.

В основу развития орошения был положен существовавший опыт, предусматривающий возможность создания оросительных систем с замкнутым водооборотом. Эти представления основывались на наблюдениях за процессом формирования зон пресных грунтовых вод и опресненных подстилающих отложений под крупными, постоянно действующими, каналами (каналы Шахруд, Водкент, Главный Голодностепский канал им. Кирова и др.) [33, 38, 42, 46, 64]. Предполагалось, что в процессе подъема уровня грунтовых вод с глубины 10-20 м до 1,5-2 м произойдет опреснение как самих грунтовых вод, так и толщи подстилающих пород, то есть будет исключена сама возможность вторичного засоления орошаемых земель. Таким образом, планировалось создание искусственных условий, аналогичных тем, которые наблюдались в пределах речных долин и верхних частей конусов выноса. Это давало возможность создания оросительных систем с замкнутым водооборотом.

Такая постановка проблемы обусловила конструкцию создаваемых оросительных систем, включающую строительство каналов в земляном русле без противофильтрационной облицовки и применение грузных (20-30 тыс. м³/га) оросительных норм. По существу, именно в этот период была заложена основа экстенсивного использования орошаемых земель и истощительного использования природных ресурсов.

Практика показала, что принятые решения о переносе существовавшего опыта орошения земель на иные условия была не обоснована. Предположение о возможности создания зоны опресненных грунтовых вод и подстилающих отложений не оправдались. Орошение и освоение орошаемых земель Голодной степи показало, что при подъеме уровня грунтовых вод с 15 до 1,5 м с 1900 по 1930 г.г. никакого опреснения грунтовых вод и, тем более, подстилающих отложений не произошло. К 1930 году минерализация грунтовых вод возросла с 8 до 15 г/л и только к 1950 году снизилась до 9 г/л. Вместе с тем, площади засоленных орошаемых земель к 1937 г. многократно возросли.

Таблица 1.2.

Таблица 1.2

Площади засоления орошаемых земель в
Голодной степи

Годы	Площади засоленных земель, %			
	Незасоленные	Средне засоленные	Сильно засоленные	Солончаки
1908- 1912	66	28	2	4
1914	61	25	3	11
1924	30	33	19	18
1935	28	14	22	36
1937	20	15	25	40

В целом по бассейну Аральского моря площади засоления орошаемых земель с 1900 по 1950 г.г. выросли с 5 до 60 % [18, 31, 33, 38, 46, 55].

Неудачный опыт широкого развития орошения земель в Средней Азии вызвал разочарование. Руководитель отдела земельных улучшений князь Масальский В.И. по этому поводу в 1913 г. с сожалением писал: «Русская власть, столкнувшись в крае с обширным водным хозяйством, распорядки которого были освещены веками, не сочла возможным вмешиваться в эту, мало знакомую ей область, и предоставила все дело водопользования местному населению» [70].

Для анализа причин увеличения минерализации грунтовых вод и засоления почв рассмотрим баланс грунтовых вод на вновь орошаемых массивах [2, 4, 40]:

$$\Delta W_r = q_1 + q_2 + q_3 - q_4 - q_5, \quad (1.10)$$

где: ΔW_r – изменение запасов грунтовых вод; q_1 – подземный приток; q_2 – фильтрационные потери из каналов оросительной сети; q_3 – питание грунтовых вод за счет орошения; q_4 – подземный отток; q_5 – расход грунтовых вод на испарение и транспирацию.

Обобщение многочисленных данных показало, что на вновь осваиваемых слабо дренированных массивах Средней Азии среднегодовые значения элементов водного баланса составляют (л/с га): $q_1 - 0,02$;

$q_2 - 0,16$; $q_3 - 0,06$; $q_4 - 0,08$; $q_5 - 0,16$ [2, 17, 41, 42, 47, 51, 54, 69]. Увеличение минерализации грунтовых вод по мере их подъема связано с растворением солей, содержащихся в твердой фазе в зоне аэрации. Широкое развитие процессов засоления орошаемых земель определяется следующими факторами:

- накоплением солей в подстилающих отложениях и грунтовых водах за счет поступления подземных и оросительных вод;

- слабой естественной дренированностью территорий и отсутствием оттока солей. Подземный отток в расходной части баланса составляет всего 9 %;

- расходом грунтовых вод на испарение и транспирацию (70 % от расходной части баланса).

1.3. Развитие орошения земель в бассейне Аральского моря в 1935 -1960 годах.

Программа широкого развития орошения в бассейне Аральского моря была разработана еще в 1912 году Гидромодульной частью. Программа предусматривала в ближайшие 10-20 лет создание сети опытно-мелиоративных и производственных организаций, задача которых состояла в изучении природных процессов, разработке техники и технологии

орошения земель и принципов реконструкции существующих оросительных систем. Однако разработанная программа не обеспечивала быстрого решения основной задачи – создание собственной базы производства хлопка-волокна и исключение его импорта. В связи с этим, несмотря на имеющийся негативный опыт нового орошения, было предусмотрено дальнейшее развитие орошения и изменение структуры использования орошаемых земель (площадь посевов хлопчатника планировалось увеличить до 40-50 %) [65]. Опытно-производственные исследования и разработка новой техники и технологии орошения земель так и не были осуществлены. Тем не менее, отсутствие результатов исследований не остановило реализацию программы развития орошения. К 1935 году площади орошаемых земель достигли 3,7 млн. га, производство хлопка-волокна возросло в 1,5 раза, а объем импорта сырья снизился с 41 до 3 %.

Такой успех в реализации программы стал возможным в результате массового народного движения, в этот период были созданы такие крупные ирригационные сооружения, как Большой Ферганский канал, Северный и Южный Ферганские каналы, Ташкентский канал и др. К сожалению, это привело не только к увеличению производства хлопка-волокна, но и к резкому ухудшению состояния орошаемых земель. Оросительные нормы брутто возросли с 10-12 до 15-17 тыс. м³/га, КПД оросительных систем снизился до 0,7-0,8, КПД техники полива – до 0,8, коэффициент

использования водных ресурсов сократился до 0,56-0,64. Площади засоления орошаемых земель возросли до 55 %. Площади посева хлопчатника увеличились до 50-60 %, а урожайность снизилась с 10-12 до 7-9 ц /га.

Причины низкой эффективности сельскохозяйственного производства Партия и Правительство усматривали в жестокой классовой борьбе и вредительстве. В 1933 году репрессиям подверглись сотрудники Наркомата земледелия, в 1935-36г.г. «вскрылся» буржуазный характер мелиоративной школы Костякова. Вмешательство государства в дела науки приняло катастрофический характер. Сессия ВАСХНИЛ 1948г. не только «разгромила» отечественных генетиков, но и дала повод для критики мелиорации. Гонение на мелиоративную науку происходило под флагом критики реакционного учения, развиваемого Костяковым А.Н., Польшовым Б.Б., Ковдой В.А., Розовым Л.П. и другими. «Реакционная» сущность этого учения состояла в том, что оно предусматривало управление природными процессами, а не покорение природы. В основе учения лежала необходимость создания технически совершенных мелиоративных систем, обеспечивающих оптимальное регулирование природных процессов. Такой подход противоречил идее покорения природы, которая вопреки закону убывающей отдачи требовала получения все возрастающих объемов сельскохозяйственной продукции в кратчайшие сроки и при минимальных материальных затратах. Затраты

природного и человеческого капитала в расчет не принимались. Девизом покорения природы были: «быстрота – дешевизна – эффективность». Утверждалось, что ни в природе растений, ни в почвах не заложены ограничения для получения высоких урожаев. По существу, лозунг покорения природы прикрывал чисто утилитарное стремление получения продукции на основании неограниченного использования природных ресурсов и применения примитивных мероприятий.

Развитие мелиорации как науки и отрасли после 1935 года происходило в сложных условиях. Проблема заключалась во все усиливающихся противоречиях между наукой и политикой. Основными достижениями мелиоративной науки было установление критической глубины залегания минерализованных грунтовых вод и разработка мероприятий по предупреждению и борьбе с засолением орошаемых земель. Было установлено, что промывки засоленных земель и устройство горизонтального дренажа глубиной 1,5-2 м, хотя и дают эффект, но не обеспечивают устойчивого регулирования водного и, главным образом, солевого режима орошаемых земель. Все это доказывало необходимость переустройства существующих оросительных систем, включающего: повышение КПД системы каналов за счет устройства противофильтрационных облицовок, совершенствование техники полива и строительство систематического глубокого горизонтального дренажа [37, 40, 41, 51, 57, 68].

Наряду с этим существовали приверженцы политических взглядов на мелиорацию земель, которые полностью отрицали необходимость капитального переустройства существующих оросительных систем и строительства систематического дренажа. Дренаж, по мнению этих ученых, заимствованный из практики американских мелиораторов, приведет к бесполезным затратам. Утверждалось, что наиболее эффективными мероприятиями по борьбе с засолением являются травопольная система земледелия, солонцевание и битумизация ложа земляных каналов и др.

В 1950г. во исполнение программы развития орошения в бассейне Аральского моря было принято решение о переходе на новую систему орошения, основной задачей которой было развитие механизации и увеличение производительности социалистического сельского хозяйства. Суть этой системы заключалась в укрупнении существующих мелких поливных участков, сокращении протяженности постоянных каналов и внедрении самотечных поверхностных поливов по длинным бороздам. Как всегда, внедрение новой системы было выполнено не комплексно и не полностью. Во-первых, не была проведена тщательная планировка поверхности укрупненных поливных участков, во-вторых – не был построен дренаж. Все это только ухудшило мелиоративное состояние земель: оросительные нормы возросли до 18-20 тыс. м³/га, а площади засоленных земель увеличились до 60 %.

К 1960 г. в бассейне Аральского моря сложилась тяжелая мелиоративная обстановка. Площади орошаемых земель увеличились до 5 млн. га, а их мелиоративное состояние резко ухудшилось: КПД оросительных систем снизился до 0,45-0,5, КПД техники полива до 0,65-0,7, коэффициент использования воды – до 0,30-0,35. Величины оросительных норм увеличились до 20-25 тыс. м³/га. Протяженность дренажа на орошаемых землях составила 3-5 пог. м/га, площадь посевов хлопчатника увеличилась до 70 %, а площади засоленных земель – до 65 %. В этот период в результате отвода минерализованных дренажных и сбросных вод в источники орошения и повторного их использования для полива, возникла устойчивая обратная положительная связь: увеличение оросительных норм – увеличение объема возвратных вод – увеличение минерализации поливных вод – увеличение оросительных норм и т.д.

1.4. Опыт применения дренажа и промывок для борьбы с засолением орошаемых земель.

При оценке эффективности дренажа и промывок орошаемых земель использовались обобщенные показатели, которые позволили свести к минимуму число учитываемых факторов. В качестве таких показателей приняты: критическая глубина грунтовых вод, промывной режим в виде соотношения элементов

водного баланса $(O_p + O_c)/E$, где: O_p и O_c – оросительная норма нетто и сумма атмосферных осадков, E – водопотребление растений; параметры дренажа (глубина заложения и расстояния между дренами), величина промывных норм.

Понятие критическая глубина грунтовых вод, которая исключает или сводит к минимуму угрозу засоления почв, ввел Полюнов [57]. Критическая глубина первоначально принималась несколько больше высоты капиллярного поднятия и составляла 2,5-3 м. Практика показала, что критическая глубина грунтовых вод зависит не только от климата и свойств почв, но и от минерализации грунтовых вод и интенсивности промывного режима [18, 41, 47, 74]. Рис. 1.3.

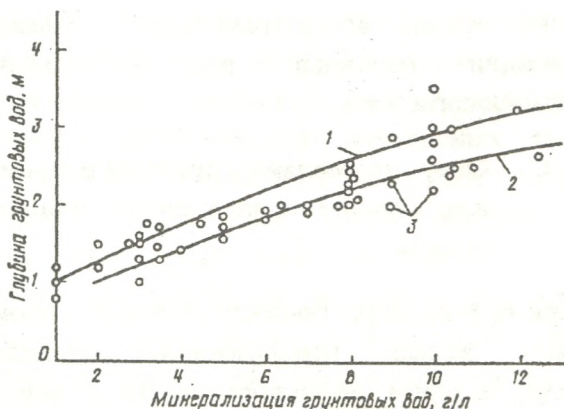


Рис. 1.3 Зависимость критической глубины грунтовых вод от их минерализации и водного режима почв:
 1, 2 — расчетные кривые при $(O_p + O_c)/E_p = 1,1$ и при $(O_p + O_c)/E_p = 1,3$;
 3 — экспериментальные данные.

Зависимость критической глубины грунтовых вод от большого числа факторов потребовала пересмотра этого понятия. Критическая глубина не является константой, а зависит от природных и хозяйственных факторов. В принципе, требование снижения уровня грунтовых вод до 2,5-3 м не обязательно, так как при наличии дренажа необходимый солевой режим почв можно регулировать промывным режимом.

Оценка эффективности дренажа выполнена по материалам исследований в бассейне Аральского моря (Чуйская долина, Бухарский оазис, Вахшская и Ферганская долины, Голодная степь, Туркмения) и в Кура-Араксинской низменности (Муганская, Сальянская и Карабахская степи) [12, 13, 17, 27, 34, 46, 47, 49, 50, 60]. Обобщение и анализ имеющихся данных показал следующее:

- осушающее и рассоляющее действие мелкого (1,2-2,5 м) дренажа с междренными расстояниями 60-300 м в период промывок невелико и в эксплуатационный период не предотвращает реставрацию засоления почв;

- наиболее эффективным является глубокий (3-3,5 м) постоянный закрытый горизонтальный дренаж, рассчитанный на нагрузку эксплуатационного периода;

- для обоснования параметров дренажа (глубина заложения и расстояния между дренами) можно

использовать имеющиеся аналитические зависимости. В качестве ориентировочных можно рекомендовать следующие параметры дренажа:

К _ф , м/сут	Глубина дренажа, м	Расстояния между дренажами, м
< 0,5	3-3,5	100-250
0,5-1,0	3-3,5	250-350
> 1,0	3-3,5	350-400

Для оценки эффективности промывок засоленных земель использовались данные [9, 12, 13, 34, 40, 45, 46, 49, 52, 60, 74]. Обобщение и анализ имеющихся данных показали, что в практике мелиорации засоленных земель широкое распространение получили эмпирические методы расчета промывных норм. В основу расчетов положены представления о том, что полное насыщение расчетного слоя почвы переводит все запасы солей в раствор, а удаление растворенных солей происходит путем поршневого вытеснения промывной водой. Характер распределения солей в расчетном слое почвы и условия отвода промывных вод учитываются различными коэффициентами, никак не связанными с параметрами дренажа.

Многолетняя практика показала, что основной целью промывок засоленных земель является

уменьшения содержания водно-растворимых солей в метровом слое почв до уровня, обеспечивающего нормальное развитие сельскохозяйственных культур. Опреснение грунтовых вод и подстилающих отложений в задачу промывок не должно входить.

1.5. Цели и задачи опытно-производственных исследований, подбор и подготовка научно-технических кадров для проведения исследований.

Целью опытно-производственных исследований является изучение процессов функционирования природных систем в аридной зоне и методов управления ими. Состав исследований включает:

- изучение водного и солевого балансов земель в естественных условиях в различные периоды освоения;
- оценка осушающего и рассоляющего действия постоянного и временного дренажа;
- оценка эффективности промывок засоленных земель, обоснование методов их расчета и технологии проведения;
- проверка математических моделей влаго- и солепереноса в почвах и грунтовых водах;

- разработка методов расчета и обоснования постоянного систематического и временного дренажа;
- разработка методов составления долгосрочных прогнозов водного и солевого режимов орошаемых земель;
- оценка возможности и целесообразности повторного использования минерализованных дренажных вод для полива;
- требования к составу и точности проектно-изыскательских работ.

Для организации и проведения исследований был подобран штат инженерно-технических кадров. Состав инженерных кадров включал: мелиораторов, геологов, гидрогеологов, геохимиков, почвоведов, агротехников, агрохимиков. В состав технического персонала вошли: метеорологи, химики, картографы, гидрологи. Весь персонал прошел специальную подготовку на метеостанциях, в почвенных и химических лабораториях, на полигоне ВСЕГИНГЕО. Был подобран весь комплект нормативно-методических документов.

Список литературы использованной к главе 1

1. Schreiber P. Über die Beziehungen zwischen der Niederschlag und der Wasserführung der Flüsse in Mitteleuropa – Z. Met, 21, Pt 10, 1904.
2. Аверьянов С.Ф. Вопросы установления величины фильтрационных потерь в системе оросительных каналов. Гидротехника и мелиорация, № 10, 1950.
3. Аверьянов С.Ф. О расчете осушительного действия горизонтального дренажа в условиях напорного питания. Научные записки МИИВХ, М, 1960, т. 22.
4. Аверьянов С.Ф. Горизонтальный дренаж при борьбе с засолением орошаемых земель. М, АН СССР, 1959.
5. Аверьянов С.Ф., Цюй Син-е. О расчете дренажа при наличии инфильтрации. Изв. АН СССР, 1957, ОТН, № 3.
6. Александров И.Г. Распределение стока р. Сырдарья и перспективы орошения в ее бассейне. М, 1923.
7. Андрианов Б.В. Древние оросительные системы Приаралья (в связи с историей

- возникновения и развития орошаемого земледелия). М, Наука, 1959.
8. Алекин О.А. Гидрохимический режим р. Амударья. Труды ГТИ, вып. 33(87), Л,1951.
 9. Астапов С.В. Промывки засоленных земель. М, ОГИЗ-Сельхозгиз, 1943.
 10. Берг Л.С. Климат и жизнь. М, 1947.
 11. Берг Л.С. Географические зоны СССР. М, Географиздат, 1947, т.1.
 12. Беседнов Н.А. Мелиорация засоленных почв. М, Сельхозгиз, 1958.
 13. Беспалов Н.Д., Власова З.С. Мелиоративные и хозяйственные результаты дренажных работ в Ферганской долине и Голодной степи. СБ. Применение дренажа при освоении засоленных земель. М, 1958.
 14. Бехбудов А.К. Мелиоративное освоение засоленных земель. Гидротехника и мелиорация, № 5, 1962.
 15. Блинов Л.К. Гидрохимия Аральского моря. Л, Гидрометеоздат, 1956.
 16. Боровский В.М., Погребинский М.А. Древняя дельта Сырдарьи и Северные Кызыл-Кумы. Алма-Ата, том 1-2, 1958-59.

17. Вавилов А.П. Расчет и проектирование дренажа орошаемых земель. Материалы к ТУиН проектирования оросительных систем. М, Гипроводхоз, 1958.
18. Виленский Д.Г. Засоленные почвы, их состав, происхождение и способы улучшения. М, 1948.
19. Воейков А.И. Искусственное орошение и его применение на Кавказе и в Средней Азии. СПб, 1895.
20. Воейков А.И. Орошение Закаспийской области с точки зрения географии и климатологии. СПб, 1908.
21. Воейков А.И. Туркестан, его воды и орошение. Вестник Европы, 1965, книга 3.
22. Воейков А.И. Земельные улучшения и их соотношение с климатом и другими естественными условиями. СПб, 1909.
23. Волобуев В.Р. О промывных нормах при мелиорации засоленных земель. Гидротехника и мелиорация, № 12, 1959.
24. Гельцер Ф.Ю., Ласукова Т.П. Влияние культур на плодородие почвы в условиях орошаемого земледелия Средней Азии. Ташкент, 1934.

25. Герасимов И.П. Основные черты развития поверхности Турана. Труды ин-та Географии АН СССР, 1937, вып. 25.
26. Герсеванов М.Н. Обводнительные и ирригационные работы в южной России. СПб, 1891.
27. Грабовская О.А. Рассоление засоленных почв и солончаков Таджикистана. Душанбе, АН ТаджССР, 1961.
28. Григорьев А.А. О взаимосвязи и взаимообусловленности компонентов географической среды и о роли в них обмена веществом и энергией. Изв. АН СССР, сер. Географическая, 1956, № 4.
29. Грубов В.И. Опыт ботанико-географического районирования Центральной Азии. Л, 1959.
30. Действующее законодательство по водному праву. Статистический сборник узаконений об орошении, обводнении, осушении, судоходстве, сплаве, пользовании водой для промышленных целей, рыболовстве, минеральных источниках и проч. (Составитель Д. Флексер). СПб, 1910.

31. Димо Н.А. Главнейшие типы засоления почв и грунтов на территории России. Ежегодник отдела земельных улучшений. СПб, 1913, ч. 1.
32. Егоров В.В. Почвообразование и условия проведения оросительных мелиораций в дельтах Арало-Каспийской низменности. М, Издание АН СССР, 1959.
33. Егоров В.В. Засоленные почвы и их освоение. М, АН СССР, 1954.
34. Засоление почв Вахшской долины и меры борьбы с ним. Сталинабад, 1940.
35. Иванов Н.Н. Об определении величин испаряемости. Изв. ВГО, 1954.
36. Исследование действия горизонтального дренажа на опытном участке Канибадамского массива. М, НИС МГМИ, 1965. Рукопись.
37. Ковда В.А и др. Значение дренажа в повышении плодородия почв. Изв. АН СССР, 1956.
38. Ковда В.А. Происхождение и режим засоленных почв. АН СССР, М-Л, 1946, т. 1-2.
39. Ковда В.А. Солончаки и солонцы. М-Л, АН СССР, 1937.

40. Костяков А.Н. Предупреждение заболачивания и засоления земель при орошении. Научные записки МГМИ, 1947, т. 13.
41. Костяков А.Н. Учет динамики водного баланса как основы системы мероприятий по борьбе с засолением в орошаемых районах. Тр. ВАСХНИЛ, М, 1947, вып. XXIV.
42. Крылов М.М. Основы мелиоративной гидрогеологии Узбекистана. АН УзССР. Ташкент, 1959.
43. Крылов М.М. О режиме и балансе грунтовых вод в Голодной степи. Ташкент, 1938.
44. Кузнецов В.И. Влияние водной растительности на испарение. Л, Труды ГТИ, вып. 46 (100), 1954.
45. Легостаев В.М. Промывные поливы засоленных почв. М, Сельхозгиз, 1953.
46. Легостаев В.М. Мелиорация засоленных земель. Ташкент, Госиздат УзССР, 1959.
47. Легостаев В.М. Горизонтальный дренаж орошаемых земель. М, Сельхозгиз, 1952.

48. Макридин Н.В. Заболачивание и засоление земель на орошаемых системах за границей и методы борьбы с ними. М, ВНИИГиМ, 1931, бюл. № 3.
49. Малыгин В.С. Итоги дренажных опытов в Золотой Орде. М, ВНИИГиМ, Бюл. № 3, 1934.
50. Малыгин В.С. Устройство дренажа и работа закрытого дренажа на Зеравшанском опытном поле. Туркменское сельское хозяйство, 1914.
51. Миркин С.Л. Коэффициент полезного действия оросительных систем Средней Азии и пути его повышения. Вопросы использования водных ресурсов Средней Азии. АН СССР, М, 1954.
52. Муzychук И.Ф. Основные итоги исследования промывки засоленных почв без дренажа в дельте реки Мургаб. Вестник сельскохозяйственной науки, вып. 5, 1940.
53. Ольдекоп Э.Н. Об испарении с поверхности речных бассейнов. СПб, 1911, т. 4.
54. Разработка мероприятий по рациональному использованию орошаемых земель в бассейне Аральского моря. М, НИС МГМИ, 1990, рукопись.

55. Панков М.А. Мелиоративное почвоведение. Ташкент, 1974.
56. План научно-исследовательских работ ВНИИГиМ на 1941 г. М, ВНИИГиМ, 1941.
57. Полынов Б.Б. Избранные труды. АН СССР, М, 1956.
58. Попов В.И. Литология кайнозойских маллас Средней Азии. Ташкент, АН УзССР, 1954.
59. Прозоровский А. Растительность пустыни и полупустыни СССР. В кн. Растительность СССР. ч. II, М, 1939.
60. Рабочев И.С. Опыт рассоления Сырдарьинских залежей. Гидротехника и мелиорация, № 12, 1950.
61. Разработка методов расчета горизонтального дренажа и промывок засоленных земель Голодной степи на основе полевых производственных исследований. М, НИС МГМИ, 1966-1969. Рукопись.
62. Раменский Л.Г., Цаценкин И.А., Чижов О.Н и др. Экологическая оценка кормовых угодий по растительному покрову. М, Сельхозгиз, 1956.

63. Ризенкампф Г.К. Данные о свободных земельных запасах в Туркестане для орошения и культивирования хлопчатника. М, 1920.
64. Ризенкампф Г.К. Основы ирригации. Л, 1925, т.1.
65. Ризенкампф Г.К. Проблемы орошения Туркестана. Оросительная хлопковая проблема. М, вып. 1, 1921.
66. Родин Л.Е. Классификация растительности пустынь Средней Азии. Ботанический журнал, т. 43, № 1, 1958.
67. Розанов А.И. Сероземы Средней Азии. М, АН СССР, 1951.
68. Розов Л.П. Мелиоративное почвоведение. М, Сельхозгиз, 1936.
69. Розов Л.П. Опыт промывки солончаков Чарынского участка р. Или. М, 1935.
70. Россия. Полное географическое описание нашего отечества. Т. XIX. Туркестанский край, СПб, 1913.
71. Средняя Азия. М, Наука, 1958.
72. Средняя Азия. М, Наука, 1968.

73. Суслов С.П. Физическая география СССР (Азиатская часть). М, 1954.
74. Федоров Б.В. Агромелиоративное районирование зоны орошения Средней Азии. Ташкент, 1953.
75. Цельникер Ю.Л., Марнова М.И. Транспирация древесных и кустарниковых растений в условиях северо-западной части Прикаспийской низменности. Тр. Ин-та леса АН СССР, М, 1955.
76. Шашко Д.И. Агроклиматическое районирование СССР: М, Колос, 1957.
77. Шредер В.Р. и др. . Различные значения оросительных норм сельскохозяйственных культур в бассейнах рек Сырдарьи и Амударьи, Ташкент, 1958.
78. Шульц В.Л. Таяние снегов в горах Средней Азии. АН УзССР. Ташкент, 1956.

Глава 2

2.1 Оценка природных условий основных районов орошения земель в Европейской части страны

В начале 70-х годов в связи с предстоящими исследованиями в Европейской части страны по настоянию С.Ф. Аверьянова был выполнен анализ особенностей природных условий основных районов нового орошения. Цель работы заключалась в том, чтобы на основании результатов исследований в Средней Азии выполнить анализ наиболее значимых для мелиорации земель особенностей природных условий степной и сухостепной зон и определить их отличие от зон традиционного орошения, выбрать объекты и разработать состав и методику исследований.

Среди факторов, определяющих особенности природных условий и функционирование природных систем, важное место занимает водный, тепловой, биологический и геохимический режимы. Это особое положение указанных факторов обусловлено не только большей их значимостью по сравнению с другими, но и возможностью регулирования их в процессе мелиорации [9, 27, 30]. Большую роль указанных режимов в формировании природных систем подтверждает зональность в размещении типов почв в основных районах перспективного орошения. Наиболее отчетливым проявлением влияния климата на образование и основные свойства почв в природе являются широтно-поясные закономерности в их

распределении. Это связано, прежде всего, с особенностями гидротермического режима и характером баланса вещества и энергии. Существование природных систем, как всякой открытой системы, возможно при условии постоянного обмена с окружающей средой, а направленность и интенсивность их развития связано с характером взаимодействия потоков вещества и энергии. В соответствии с этим, природные условия целесообразно оценивать по отдельным зонам, характеризующимся общностью процессов поступления и расходования тепла и влаги. Не останавливаясь на анализе существующих методов оценки гидротермического режима, отметим, что для характеристики природных зон наиболее подходящим является показатель гидротермического режима, предложенный Григорьевым и Будыко [7, 17, 19, 40]. Преимущество этого показателя состоит в том, что соотношение R/LO_c позволяет оценить тип водного режима почв, интенсивность биологических и геохимических процессов.

Зональные значения индекса сухости (\bar{R}) и особенности природных ландшафтов по основным почвенно-климатическим зонам приведены в таблице 2.1 [11, 16, 17, 20, 35].

Таблица 2.1

Особенности природных условий почвенно-климатических зон страны

Природно-климатическая зона	\bar{R}	Особенности природных условий
Лесная	0,5-0,8	<p>Недостаточная тепло- и избыточная влагообеспеченность. Тип водного режима – промывной, тип геохимического баланса – отрицательный. Почвы – кислые, подзолистые, дерново-подзолистые и др. Биологические реакции организмов определяются недостатком кальция, фосфора, калия и микроэлементов. Биологический круговорот характеризуется значительным накоплением органического вещества в виде подстилки и опада и медленным его разложением. Состав гумуса – гуматно-фульватный.</p>
Лесостепная	0,8-1,0	<p>Недостаточная тепло- и достаточная (периодически избыточная) влагообеспеченность. Тип водного режима – промывной, тип геохимического баланса – отрицательный, на юге – скомпенсированный. Почвы слабокислые или нейтральные серые лесные и черноземные.</p>

		<p>Биологические реакции организмов определяются недостаточным содержанием кальция и фосфора. Биологический круговорот характеризуется значительным накоплением органического вещества в виде подстилки и степного войлока. Процессы накопления органического вещества примерно соответствуют его разложению. Состав гумуса - фульватно-гуматный.</p>
Степная	1,0-1,3	<p>Достаточная тепло- и неустойчивая влагообеспеченность. Тип водного режима - периодически промывной, тип геохимического баланса - скомпенсированный. Почвы - нейтральные и слабощелочные черноземные и темно-каштановые. Биологические реакции организмов определяются достаточным количеством кальция и калия и часто недостатком фосфора. Биологический круговорот характеризуется скомпенсированным процессом накопления и разложения органического вещества. Состав гумуса - гуматный.</p>

<p>Сухостепная, полупустынная и пустынная</p>	<p>1,3-1,5</p>	<p>Достаточная тепло- и недостаточная влагообеспеченность. Тип водного режима – непромывной (при близком залегании грунтовых вод выпотной). Тип геохимического баланса – накопительный. Почвы – нейтральные и щелочные, светло-каштановые, бурые пустынно-степные, солонцеватые. Биологические реакции организмов определяются повышенным содержанием сульфатов натрия и хлора и недостатком фосфора и калия. Биологический круговорот характеризуется малым объемом или отсутствием степного войлока и преобладанием процессов его разложения. Состав гумуса – гуматный.</p>
<p>Поймы и дельты крупных рек:</p> <p>В лесной и лесостепной зонах</p> <p>В степной зоне</p> <p>В сухостепной и полупустынной зонах</p>	<p>0,4-0,7</p> <p>0,8-1,3</p> <p>0,8-1,5</p>	<p>Формируются под воздействием зональных факторов и условий поемности. Характерными особенностями пойм и дельт является то, что они формируются в условиях высокой динамичности не только русловых и аллювиальных процессов, но и гидротермического режима и периодически находятся то в азральных, то в аквальных условиях. Такая динамичность гидротермического режима определяет высокое разнообразие</p>

		и богатство природных ресурсов. Тип водного режима – периодически промывной, тип геохимического баланса – скомпенсированный. Почвы – нейтральные, на севере кислые. Биологические реакции организмов определяются режимом поемности, формирующими лугово-дерновый процесс почвообразования и богатые гумусом и элементами питания почвы. Состав гумуса – гуматно-фульватный и фульватно-гуматный.
--	--	---

Из таблицы 2.1 видно, что для пустынной зоны в целом характерны значительное поступление солнечной энергии и слабое естественное увлажнение. Среднегодовая влажность почвы в слое 0-1 м составляет 0,15-0,45 от общей пористости. Сухостепная зона отличается недостаточным естественным увлажнением. Среднегодовая влажность почвы в слое 0-1 м составляет 0,25-0,45 от пористости. Для степных почв характерен естественный промывной режим незначительной интенсивности. Южные черноземы формируются в условиях глубокого весеннего промачивания, а типичные и, особенно, выщелоченные и оподзоленные – в условиях стабильного промывного режима. Почвы нечерноземной зоны формируются в условиях интенсивного промывного режима и

ограниченного поступления тепла [16, 17, 20, 24, 25, 27, 30, 35].

В таблице 2.2. приведены общие показатели биологического круговорота в естественных условиях [6].

Таблица 2.2

Общие показатели биологического круговорота

Показатели	Тип зональных почв			
	Подзолы	Черноземы	Каштановые	Пустынные
Общая биомасса, т/га	170-360	19-25	10-22	4
Ежегодный прирост биомассы, т/га	5,5-10,0	11,0-14,5	5,0-10,0	1,4
Ежегодный опад, т/га	4,0-7,0	10,0-13,0	4,0-9,0	1,2
Накопление части опада в виде подстилки, т/га	0,20-0,50	0,10-0,15	0,03	
Содержание химических элементов, т/га	1,5-4,0	1,0-1,16	0,6-1,2	0,18

Сопоставление данных таблицы 2.2 с типом водного режима показывает, что максимальная

биологическая продуктивность и содержание гумуса отмечаются в почвах степной зоны, формирующихся в условиях скомпенсированного гидротермического режима [3]. Рис. 2.1

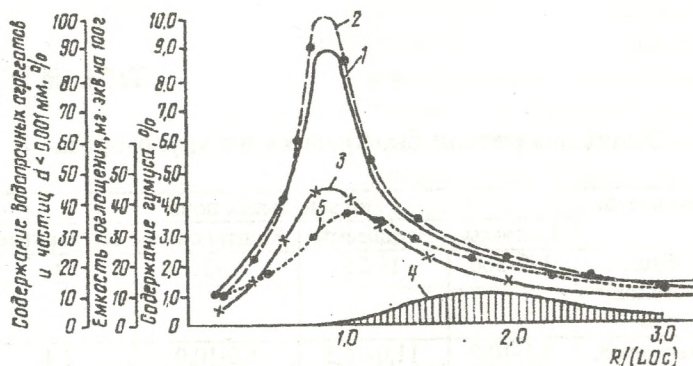


Рис 2.1 Зависимость основных свойств почвы от гидротермического режима: 1 - содержание водонепроницаемых агрегатов; 2 - содержание гумуса в слое 0...50 см.; 3 - емкость поглощения; 4 - распространение солонцов; 5 - содержание частиц $d < 0,001 \text{ мм}$

Изменение водного режима в ту или иную сторону сопровождается уменьшением ежегодного прироста биомассы и содержания гумуса в почвах. В тесной корреляции с гидротермическим режимом находятся и все остальные свойства почв. Такая тесная связь определяется значительным влиянием биохимических процессов на условия выветривания горных пород, миграцию химических элементов, накопление гумуса и другие почвенные процессы. Почвы степной зоны обладают огромным запасом

энергии, аккумулированной в гумусе, высоким содержанием илистой фракции и, как следствие, водопрочной структурой и высокой емкостью поглощения (ППК). В пустынной зоне биологическая продуктивность почв низкая, органические остатки быстро минерализуются, в связи с чем, почвы бедны гумусом и отличаются низкой емкостью поглощения. Почвы сухостепной зоны занимают промежуточное положение. Зависимость емкости поглощения от содержания гумуса и илистой фракции для разных типов почв имеет вид [11]:

для сероземных почв

$$\text{ППК} = 4 + 1,9x_1 + 0,2x_2 \quad (2.1)$$

для светло-каштановых почв

$$\text{ППК} = 5,6 + 2x_1 + 0,3x_2 \quad (2.2)$$

для каштановых и темно-каштановых почв

$$\text{ППК} = 6,5 + 2,2x_1 + 0,4x_2 \quad (2.3)$$

для черноземных почв

$$\text{ППК} = 12 + 2,5x_1 + 0,5x_2, \quad (2.4)$$

где: x_1 и x_2 – содержание гумуса и илистой фракции, %.

Оценка состояния орошаемых земель в Европейской части страны показала, что в основу

развития орошения был положен опыт ирригации в Средней Азии. Практически повсеместно предусматривался подъем уровня грунтовых вод и последующее его регулирование на глубине 2-2,5 м систематическим горизонтальным дренажем. Последствия такого подхода к широкому развитию орошения сказались достаточно быстро. Уже к 1970-1972 годам во многих районах (в Украине, Поволжье, на Северном Кавказе) начались процессы вторичного засоления почв. Это произошло потому, что не были учтены особенности природных условий Европейской части страны. [1, 6, 23, 24, 30].

Вместе с тем, почвенно-мелиоративные, биологические и геохимические условия районов нового орошения существенно отличаются от среднеазиатских. В отличие от пустынных и сероземных почв, черноземные и каштановые почвы Европейской части страны отличаются высоким содержанием гумуса, высокими значениями ППК и высокой физико-химической активностью [10, 12, 13, 28].

При рассмотрении специфических особенностей земель степной и сухостепной зон основное внимание уделялось следующим вопросам:

2.1.1. Различия процессов вторичного засоления

Проявление вторичного засоления орошаемых земель в степной и сухостепной зонах, в отличие от

пустынной, очень разнообразно. В сухостепной зоне, наряду с засолением почв нейтральными солями, широкое развитие получили процессы осолонцевания. В степной зоне основную опасность представляет не накопление солей в почвах, а изменение состава ППК и развитие процессов слитообразования, ухудшение водно-физических свойств, сработка запасов гумуса и, как следствие, снижение плодородия черноземных почв [1, 3, 5, 10, 25, 26]. Это говорит о том, что использование методов регулирования водно-солевого режима почв орошаемых земель, разработанных для условий Средней Азии, было недопустимым. Почвы степной и сухостепной зон обладают не только фильтрационной, но и физико-химической гетерогенностью. К этому следует добавить, что фильтрующиеся растворы представляют собой многокомпонентные смеси. Следовательно, в процессах физико-химического взаимодействия растворов с почвой участвует несколько ионов, и сорбция каждого из них зависит как от общей концентрации, так и от состава и ионной силы растворов. Поэтому, при составлении долгосрочных прогнозов солевого режима орошаемых земель, было необходимо учитывать кроме ионов хлора, еще ионы натрия, кальция и магния в растворе и ППК.

2.1.2 Различие в изменении естественного увлажнения

Если в Средней Азии орошение является основой сельскохозяйственного производства, то в сухостепной и особенно степной зонах орошение должно служить лишь дополнением к естественному увлажнению. Как видно из рисунка 2.1, наиболее плодородные почвы в естественных условиях формируются при скомпенсированном гидротермическом режиме ($R/LO_c = 0,9-1,1$). Считая, что такое соотношение водных и тепловых ресурсов является оптимальным с точки зрения почвенных процессов, оценим ориентировочные объемы водоподачи и степень нарушения естественного водного режима [5, 7, 11, 16, 17, 19, 40]. Таблица 2.3.

Таблица 2.3

Изменение естественного водного режима почв различных природных зон при орошении.

Природная зона	R , кДж/см ² год	Атмосферные осадки O_c , мм	Объем водоподачи, O_p тыс. м ³ /га	O_p/O_c
Пустынная	251-293	300	8-10	2,7-3,0
Сухостепная	167-209	300-450	3-6	0,7-2,0
Степная	159-176	500-600	1-2	0,15-0,35

Существующие методы расчета водопотребления сельскохозяйственных культур, основанные на учете климатических условий и требований растений, не

учитывают высокую неравновесность каштановых и черноземных почв, и как правило завышают величины оросительных норм. Высокие оросительные нормы сопровождаются существенными изменениями гидротермического и геохимического режимов почв и могут привести к потере плодородия почв [5, 6, 11, 17, 23, 36]. Таблица 2.4.

Таблица 2.4

Влияние оросительных норм на солевой режим и свойства черноземов

Показатели	Оросительная норма, м ³ /га	
	1200	4000
Отношение $R/L O_c$	1,11	1,17
Отношение $R/L(O_c + O_p)$	1,0	0,75
Сумма осадков, мм	500	500
Отношение O_p/O_c	0,24	0,80
Минерализация оросительной воды, г/л	0,3-0,4	0,5-0,6
Промывной режим, м ³ /га	300	2000
Изменение состава почвенных растворов* :		
Кальций	0,9	0,75
Магний	1,0	1,2
Натрий	1,0	1,1
НСО ₃	1,0	1,7
Плотный остаток, * С _О	1,0	1,0
Изменение состава ППК*,		
Кальций	1,0	0,8
Магний	1,1	2,4
Натрий	1,1	2,5
Прирост биомассы, поступающей в почву, т/га	1,0	1,5
Вывыв органики, т/га (при $C_{орг}=1,2$ г/л)	0,4	2,4
Баланс органики, т/га	+ 0,6	-0,9

Изменение содержания гумуса*, $\bar{G} = G_0 / G_1$	1,1	0,8
Изменение соотношения гуминовых кислот к фульвокислотам	1,0	0,7

Примечание: для показателей «*» приведены отношения содержания ионов, гумуса в неорошаемых и орошаемых почвах в слое 0,6 м.

Из таблицы 2.4 видно, что завышение оросительных норм приводит не только к нерациональному использованию водных ресурсов, но и к ухудшению состояния орошаемых земель.

2.1.3 Различие в степени естественного увлажнения по годам

Орошение в пустынной зоне – основной источник водоснабжения сельскохозяйственных растений, в то время как сухостепной и степной зонах – только дополнение к атмосферным осадкам и должно снимать возникающие дефициты естественного увлажнения почв и приземного слоя воздуха. Соответственно, оросительные нормы по годам для основных почвенно-климатических зон существенно отличаются. В пустынной зоне изменение оросительных норм по годам не превышает 10-20 %, а в сухостепной и степной зонах оно может достигать 200-400 %. Это определяет порядок обоснования проектного режима орошения сельскохозяйственных культур, который

устанавливается для года расчетной обеспеченности по дефициту водного баланса. Совершенно очевидно, что обеспеченность расчетного года будет тем ниже, чем выше коэффициент вариации естественного увлажнения территории. Наиболее высокий коэффициент вариации естественного увлажнения характерен для степной зоны, в связи с чем, обеспеченность расчетного года при обосновании режима орошения должна быть значительно ниже, чем в пустынной зоне.

2.1.4 Различие в объеме и химическом составе солей, поступающих в почву с оросительной водой

Минерализация и химический состав поверхностных вод, используемых для орошения, уменьшается с юга на север [8]. Таблица 2.5.

Таблица 2.5

Минерализация и химический состав поверхностных вод

Природная зона	Минерализация, г/л	В том числе ионы, мг-экв/л			
		НСО ₃	Ca	Mg	Na
Пустынная	0,5-1,5	3,0-4,0	4,5-14,0	3,0-5,8	3,5-15,2
Сухостепная	0,5-1,0	3,0-4,5	4,5-11,0	3,0-5,0	3,5-12,3
Степная	0,3-0,5	3,0-4,8	2,5-4,5	2,0-3,0	2,2-3,5

Ежегодное поступление солей в почвы при орошении составляет (т/га): в пустынной зоне – 4-14; в

сухостепной – 1,5-6; в степной – 0,3-1,4. Оценка качества воды по общей минерализации не позволяет отразить весь спектр воздействия их на почву. Важнейшие химические особенности поливных вод зависят от их состава и, прежде всего, от ионов Na, Mg, Ca и HCO_3 . Соотношение указанных ионов определяет характер засоления – накопление солей, осолонцевание, содообразование.

2.1.5 Промывной режим орошения

Анализ результатов наших исследований в пустынной зоне и данные других авторов показывают, что интенсивность промывного режима орошения должна ограничиваться некоторыми пределами. Пределы эти различны для почв основных природных зон и определяются:

- для пустынной зоны – необходимостью регулирования солевого режима почв;
- для сухостепной зоны – необходимостью предупреждения процессов засоления и осолонцевания;
- для степной зоны – необходимостью предупреждения процессов осолонцевания, вымыва гумуса, развития процессов содообразования и осолодения.

2.1.6 Техника полива

При решении вопросов техники полива необходимо учитывать характер процессов вторичного засоления и ухудшения свойств почв. Для почв пустынной зоны необходимость осуществления промывного режима интенсивностью (0,1-0,25)Е определяет достаточно широкие пределы регулирования влажности почв (0,7-0,9)ППВ и целесообразность широкого применения поверхностных самотечных способов полива. Для почв сухостепной и, особенно, степной зон, где существует опасность осолонцевания, пределы регулирования влажности почв должны быть значительно уже, что должно быть учтено при обосновании техники полива [2, 4, 21, 22, 29, 31, 32, 33, 38, 39].

На основании анализа указанных особенностей природных условий степной и сухостепной зон в качестве основных объектов исследований были выбраны Поволжье и Азово-Кубанская равнина. Выбор этот был обусловлен следующими соображениями:

- широким распространением плодородных черноземных, темно-каштановых и каштановых (в комплексе с солонцами) почв. Почвы на большей части территории не засолены, но являются потенциально опасными с точки зрения развития процессов вторичного засоления при орошении;

- почвы рассматриваемых регионов являются наиболее подходящими объектами для изучения процессов влаго- и солепереноса в условиях высокой фильтрационной и физико-химической гетерогенности;

- ролью рассматриваемых регионов в общем производстве сельскохозяйственной продукции. На долю Поволжья и Северного Кавказа приходится более 50 % производства сельскохозяйственной продукции;

- широким развитием орошения. К 1985 г. предусматривалось увеличение площадей орошаемых земель до 3,4 млн. га (69 % от общих площадей орошения в РФ), в том числе 1,5 млн. га в Поволжье и 1,0 млн. га на Северном Кавказе;

- прогрессирующим ухудшением мелиоративного состояния уже введенных в строй орошаемых земель. Площади земель с неудовлетворительным состоянием составили 10-15 % и продолжают увеличиваться;

- низкой эффективностью орошаемого земледелия. Фактическая урожайность сельскохозяйственных культур на орошаемых землях не превышает 0,6-0,8 от проектной.

2.2 Природные условия Азово-Кубанской равнины

Геологическое строение рассматриваемой территории представлено меловыми отложениями,

лежащими на выветренных гранитах докембрийского фундамента. Общая мощность меловых отложений составляет 320...620 м. Далее идут палеогеновые отложения мощностью 260...270 м, представленные в основном глинами с отдельными прослоями песков.

Неогеновые отложения мощностью 100..170 м, имеют морское или континентальное происхождение и отличаются большой пестротой литологического состава.

Четвертичные отложения развиты широко в левобережье Дона и в прибрежной части Таганрогского залива имеют континентальное происхождение.

Стратиграфически четвертичные образования не расчленены (eol-dQ₁₋₃), мощность их на склонах водораздела, примыкающего к береговому обрыву Таганрогского залива, составляет 30... 35 м, на водораздельных пространствах - 40...50 м, в долинах Нижнего Дона от 5...6 до 10...12 метров.

Литологический состав четвертичных отложений в пределах Азовской оросительной системы и новой Приморской оросительной системы, которая является частью крупного массива орошения на базе проектируемого канала Ростов-Краснодар, довольно однообразен. В нижней части толщи залегают суглинки средние с линзами серых и зеленоватых иловатых песчанистых глин (либо тяжелых суглинков) озерного типа. Верхняя часть толщи более однородная - это

пылеватые серовато-желтые лессовидные суглинки с горизонтами погребенных почв. Горизонтов погребенных почв насчитывается от одного до трех по вертикали на глубинах от 5 до 16 м. По составу погребенные почвы представляют собой гумусированные суглинки местами уплотненные (горизонты вымывания солей - ортзанды). Погребенные почвы, не выдержанные по простиранию, часто прерываются, иногда сливаются между собой, что характерно для водораздельного склона. Мощности погребенных слоев почвы изменяются от I до 3 м.

В разрезе покровных суглинков встречаются линзы иловатых глин, которые выполняют роль местных водоупоров и могут вызвать образование верховодки.

Рассматриваемая территория входит в пределы северного крыла (западная часть) обширного Азово-Кубанского артезианского бассейна. Границами бассейна на западе является побережье Азовского моря, на востоке - Манычская депрессия, на севере - Донецкая складчатая зона и Ергенинское поднятие [26,50]

В вертикальном разрезе Азово-Кубанский бассейн в своей западной части имеет два этажа водоносных комплексов, разделенных мощной толщей майкопских глин, залегающих повсеместно и имеющих мощность до 200 м. Рис. 2.2.

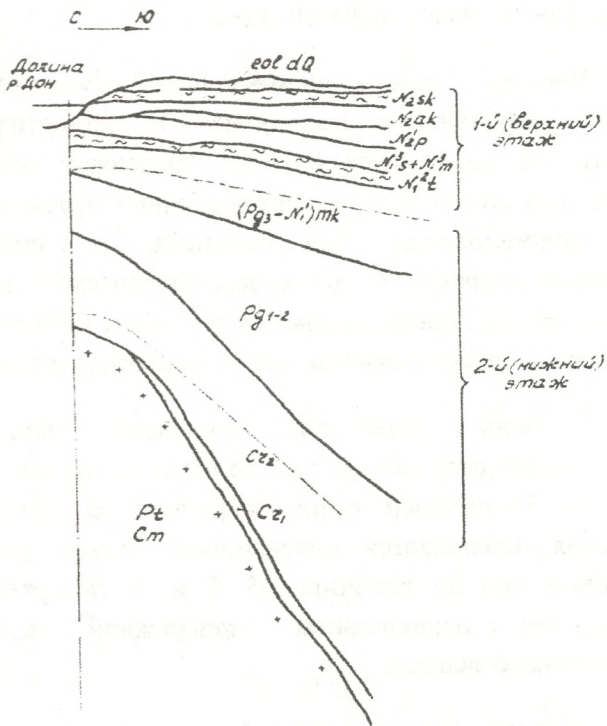


Рис 2.2 Схема-разрез Азово-Кубанского артезианского бассейна

Нижний этаж - подмайкопский, его водоносные комплексы приурочены к меловым, ниже- и средне палеогеновым породам - известняково-мергельным, реже песчаным по составу, разделенным прослоями глин. Воды этого этажа напорные, глубинные (глубины более 300 м), с очень слабым водообменом, сильно

минерализованные. Минерализация увеличивается с глубиной от 10...35 г/л до 300 г/л и более.

Верхний этаж - надмайкопский. Воды этого этажа приурочены к неогеновым и четвертичным осадкам. В них сверху вниз выделяют четыре водоносных комплекса: 1 - в четвертичных отложениях, 2 - в азово-кубанских слоях плиоцена, 3 - в породах понтического яруса и 4 - в породах мэотического яруса. Первые три из перечисленных водоносных комплексов имеют наибольшее значение для водоснабжения района.

Глубина залегания грунтовых вод в четвертичных отложениях от 1 до 40 м, минерализация 2...6 г/л. Подземный отток затруднен. В условиях орошения наблюдается интенсивный подъем уровня грунтовых вод до глубины 2,5...3 м от поверхности земли (за исключением прибрежной полосы Таганрогского залива).

Климат региона характеризуется теплым летом и умеренной зимой. Продолжительность вегетационного периода 150...170 сут, сумма активных температур 2650...3500° [43]. Анализ данных по климату региона (46 метеостанций) позволяет сделать некоторые обобщения. Табл. 2.6.

Таблица 2.6
Метеорологические характеристики региона (по данным 46 метеостанций)

Ме- сяц	Каштановые почвы				Черноземы южные				Чернозем с.приазов- ский				Черноземы предкав- казские			
	t , °C	O_c , мм	E_0 , мм	$\frac{E_0}{O_c}$	t , °C	O_c , мм	E_0 , мм	$\frac{E_0}{O_c}$	t , °C	O_c , мм	E_0 , мм	$\frac{E_0}{O_c}$	t , °C	O_c , мм	E_0 , мм	$\frac{E_0}{O_c}$
I	-6,8	46	8,0	0,17	-7,6	47	7,8	0,17	-6,0	56	8,8	0,16	-5,2	50	9,4	0,19
II	-6,2	41	9,2	0,22	-7,3	49	8,6	0,18	-5,4	54	10,2	0,19	-4,5	49	10,8	0,22
III	-0,6	37	18,9	0,51	-1,7	41	16,6	0,40	-0,1	43	19,7	0,46	0,7	42	20,8	0,50
IV	6,6	33	65,6	1,99	8,1	39	64,7	1,66	8,8	37	67,4	1,82	9,3	37	67,4	1,82
V	16,1	42	125,2	2,98	16,0	46	125,5	2,73	16,2	42	120,9	2,88	16,4	45	114,8	2,55
VI	20,4	50	164,5	3,29	19,7	53	152,8	2,86	19,9	58	142,0	2,45	20,3	61	137,4	2,25
VII	23,6	43	208,9	4,86	22,5	55	174,4	3,17	22,9	54	172,5	3,19	23,2	53	173,9	3,28
VIII	22,4	38	190,1	5,00	21,1	39	161,3	4,14	21,8	34	166,2	4,89	22,3	38	165,4	4,35
IX	16,1	27	122,6	4,54	14,9	30	108,8	3,63	15,9	30	113,0	3,77	16,3	34	112,2	3,30
X	8,7	36	51,7	1,44	7,3	36	46,0	1,28	8,8	37	51,9	1,40	9,4	40	52,7	1,32
XI	1,5	37	20,3	0,55	0,6	41	19,9	0,49	2,0	43	21,0	0,49	2,6	44	21,8	0,50
XII	-4,0	49	10,0	0,20	-4,9	50	9,7	0,19	-3,3	56	10,6	0,19	-2,6	56	11,6	0,21
	8,3	479	995	2,08	7,4	566	896,1	1,70	8,5	544	904,2	1,66	9,02	549	898,2	1,64

Прежде всего территория в целом характеризуется недостаточным и неустойчивым увлажнением: среднегодовое отношение E_0/O_c колеблется от 1,64 до 2,08. Не менее характерным является закономерное уменьшение величины атмосферных осадков в северной части области с запада, северо-запада на восток и юго-восток; в южной части усиление засушливости идет с юго-запада на северо-восток. Характерна также неоднородность климата, которая проявляется в различной обеспеченности теплом и влагой по отдельным периодам года. В зимне-весеннее время наблюдается, как правило, преобладание осадков над испарением, промачивание почвы на 60...200 см и накопление влаги в зависимости от водности года (отношение E_0/O_c колеблется в пределах региона от 0,16 до 0,55). В летний период, несмотря на относительно равномерное в течение года распределение осадков, наблюдается иссушение почв, интенсивность которого закономерно изменяется с запада на восток. Общее количество тепла увеличивается в пределах области с севера на юг. В этом же направлении повышается среднегодовая температура воздуха, причем в основном за счет более высоких температур холодного времени года.

В целом гидротермический режим рассматриваемого региона обеспечивает достаточно хорошие условия для произрастания лугово- степной и

степной травянистой растительности, формирующей черноземный профиль.



Рис. 2.3 Районирование региона по величине "индекса сухости"

На рисунке 2.3 приведено районирование региона по величине "индекса сухости" (R/LD_c), из которого видно, что черноземы данного региона как тип почв формируются в условиях скомпенсированного гидротермического режима (отношение R/LD_c от 0,9 до 1,3).

Следовательно, естественный водный режим региона способствует достаточно высокому обеспечению влагой и периодически сквозному

промачиванию (естественный промывной режим). В среднемноголетнем разрезе этот промывной режим имеет незначительную интенсивность и обеспечивает в естественных условиях только вымыв солей, образующихся в результате минерализации органики, не приводя к существенному выщелачиванию черноземов. Зональные почвы региона - обыкновенные, южные, приазовские и предкавказские черноземы, образование которых происходило в условиях достаточно высокого увлажнения (в многолетнем разрезе) и существенных колебаний влажности по отдельным периодам года. [41,42] Чередование периодов увлажнения и иссушения способствует интенсивной сезонно-переменной миграции веществ в пределах профиля и является причиной всплесков и затухания деятельности мезо- и микроорганизмов, перерабатывающих растительные остатки. Период летнего иссушения черноземов очень важен для образования и накопления гумуса, так как в это время ослабляется активность микроорганизмов, минерализующих растительные остатки, но энергично действуют ферменты, способствующие переходу новообразованных гумусовых веществ в гуминовые кислоты, которые в рассматриваемых условиях полностью нейтрализуются кальцием.

Обращает на себя внимание тесная связь подтипов черноземов с гидротермическими условиями. Общие гидротермические условия изменяются в пределах региона с севера на юг и с запада на восток под влиянием общезональных факторов и с юга на север -

под влиянием вертикальной зональности. В соответствии с этим изменяется и характер почвенного покрова, в этом же направлении меняется и профиль черноземов.

Основу почвенного покрова северной части региона составляют зональные почвы Русской равнины - южные черноземы, среди которых наиболее распространенными и типичными являются южные легкоглинистые черноземы на желто-бурых структурных глинах. Южные черноземы сформировались под злаковыми степями. Относительно небольшая продуктивность органического вещества в этих растительных ассоциациях и выраженная аэробность среды обуславливают интенсификацию разложения растительных остатков с образованием простых соединений. В результате этого южные черноземы имеют небольшую мощность гумусовых горизонтов, а по содержанию гумуса относятся к мало- и среднегумусным. Они содержат 5...8% гумуса в верхнем горизонте и имеют запас гумуса в слое 0...100 см 250...300 т/га. Мощность всей гумусированной толщи 65...90 см.

Механический состав южных черноземов в различных районах области однороден и характеризуется преобладанием частиц физической глины от 60 до 75%.

Южнее ареала южных черноземов распространены северо-приазовские черноземы. По

сравнению с южными у северо-приазовских черноземов заметно повышается общая мощность гумусовых горизонтов и значительно понижается залегание белоглазки и гипса, что является следствием улучшения водного режима. Мощность всей гумусированной толщи колеблется от 75 до 100 см. При достаточно большой мощности гумусовых горизонтов северо-приазовские черноземы отличаются слабой интенсивностью гумусовой окраски, обусловленной относительно небольшим содержанием гумуса. В поверхностном слое этих черноземов содержится 4...6% гумуса, с глубиной содержание его уменьшается очень постепенно. Общие запасы гумуса во всей толще перегнойных горизонтов составляют около 475 т/га. Механический состав характеризуется незначительным содержанием песка крупнее 0,25 мм, количество которого не превышает 1,6%. Преобладающими являются фракции илистой и крупной пыли. Северо-приазовские черноземы имеют хорошо выраженную зернистую и комковато-зернистую структуру.

Основу почвенного покрова южных районов региона составляют мощные и сверхмощные карбонатные малогумусные предкавказские черноземы. Для предкавказских черноземов характерна очень большая мощность гумусовых горизонтов, значительная карбонатность всего профиля и небольшое содержание гумуса в пахотных горизонтах. Мощность горизонтов (А + В) составляет 100...140 см. Верхние горизонты содержат 3...6% гумуса, но распространяется гумус

глубоко с постепенным падением к низу. На глубине около 2-х метров еще содержится до 1% гумуса. Средние запасы гумуса во всей толще предкавказских карбонатных черноземов составляют 550 т/га.

По механическому составу предкавказские черноземы тяжелосуглинистые или легкосуглинистые. Количество частиц физической глины составляет 53...69% с преобладанием по профилю илистой фракции 35...47%

2.3 Природные условия Прикаспийской низменности.

Территория Прикаспийской низменности в верхнечетвертичный период была покрыта водами Хвалынского моря. По мере отступления моря, в условиях засушливого климата, первоначально сформировались ландшафты с солончаковой стадией почвообразования. Изменение базиса эрозии и снижение уровня грунтовых вод привели к смене солончакового процесса на процесс остепнения и формирования плодородных черноземных и каштановых почв. Это дало основание Польшину Б.Б. и Ковде В.А. сделать вывод о том, что природно-мелиоративные условия Прикаспийской низменности благоприятны для широкого развития орошения. Единственным ограничением для развития орошения было требование сохранения автоморфного режима и недопущение подъема уровня грунтовых вод и формирования верховодки [24, 30].

Наибольший интерес с точки зрения развития орошения представляет Хвалынская равнина, занимающая центральную часть Прикаспийской низменности. Рис 2.4

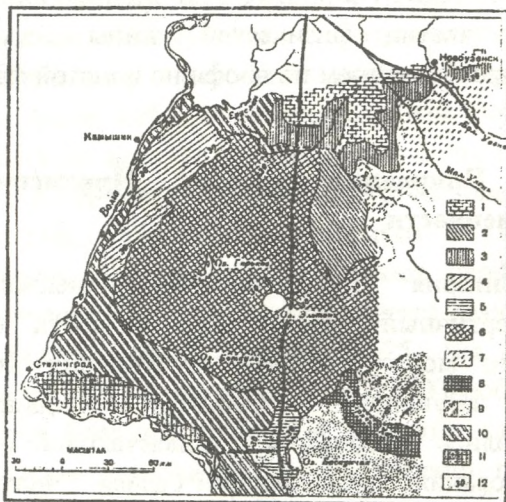


Рис.2.4 Схема районов Прикаспийской низменности

1 — плоская сыртовая равнина; 2 — водораздел рек Торгун — Горькая; 3 — Присыртовая хвалынская терраса; 4 — приволжская песчаная гряда; 5 — Баскунчакская останцовая равнина; 6 — озерно-лиманная депрессия (область размыва хвалынской дельты р. Волги); 7 — Приузенская равнина; 8 — бессточная впадина Хакит; 9 — урдинские и богдинские древнедельтовые пески; 10 — древние террасы рек Волги и Ерусалана; 11 — Волго-Ахтубинская пойма; 12 — горизонталь + 30 м над уровнем моря

Рельеф. Природные условия территории Прикаспийской низменности отличаются большим разнообразием и вместе с тем имеют много общих черт [44...49]

Отличительной особенностью низменности является ее бессточность. Слабая дренированность обусловлена небольшими уклонами. Засушливость климата, наличие множества бессточных впадин и сложившиеся особые черты тектоники замедляют сток поверхностных и грунтовых вод.

Слабое эрозионное расчленение поверхности Прикаспийской низменности объясняется отсутствием сколько-нибудь обширной гидрографической сети, которая, в свою очередь, является следствием аридности климата.

Для суглинистых равнин северной части Прикаспийской низменности менее характерен, чем впадины, лиманы и ссоры, западинный микрорельеф, представляющий систему мелких, неправильной формы, степных блюдец, испещряющих поверхность и чередующихся с чуть повышенными участками. Глубина их не превышает обычно 20 см, диаметр колеблется от 1 до 20 м. Особенно интенсивно процесс образования западин протекает в северной части низменности.

Образование западин – процесс современный. Он связан с перераспределением атмосферных осадков по мелким неровностям рельефа и с выщелачиванием растворимых солей и мелкозема из поверхности горизонтов пород с последующим уплотнением грунтов и с мелкими просадками их. Для выщелачивания солей, просачивающимися в почву поверхностными водами, требуется определенный минимум этих вод и определенные свойства грунтов. Этим и объясняется, что на юге равнины, где количество осадков уменьшается и суглинистые отложения заменяются песками, западинного рельефа почти нет. Слабо развит он и на участках, сложенных с поверхности глинами, препятствующими при размокании просачиванию вод вглубь.

Мощность хвалыньских отложений колеблется от 3-4 м на повышенных участках и увеличивается до 20-25 м и более во впадинах. Хвалыньские отложения имеют довольно разнообразный литологический состав. В северной части низменности на поверхности залегает толща бурых лессовидных карбонатных суглинков, с глубиной переходящих в глины. Несколько южнее суглинки на поверхности сменяются супесями. В понижениях древнего рельефа под бурыми суглинками залегают трещиноватые глины шоколадного цвета, мощность которых по мере удаления от понижений уменьшается. В замкнутой, приволжской части низменности шоколадные глины иногда выходят на поверхность. Под глинами нередко залегают,

сменяющие друг друга в горизонтальном и вертикальном направлениях, прослой песка, супеси и суглинка разной мощности.

Толща слоя современных песчано-глинистых лиманных континентальных отложений, залегающих на отдельных участках поверхности морских хвалынских и поздне-хвалынских, невелика, и не имеет сплошного распространения. Мощность после-хвалынских лиманных отложений в исключительных случаях превышает 1,0-1,5 м, а нередко достигает 1 м, мощность делювиальных и других образований такая же или меньше. Это объясняется, во-первых, тем, что новейшие отложения начали формироваться в Прикаспии сравнительно недавно и, во-вторых, что при свойственных Северному Прикаспию малых уклонах и бедности поверхностными водами размыв поверхности и накопление осадков происходит крайне медленно.

Гидрогеология. При значительной пестроте литологического состава геологического разреза и бессточности обширной территории Прикаспийской низменности гидрогеологические условия отличаются большим разнообразием и сложностью.

Формирование подземных вод, их миграция и разгрузка тесно связаны с геолого-тектонической историей развития территории. По условиям залегания

и качеству подземных вод водоносные горизонты очень различны.

Водоносный горизонт современных озерных и озерно-аллювиальных отложений ($IQ_{IV}Ia|Q_{IV}$) имеет локальное распространение в виде линз, форма и размеры которых ограничены контурами рельефа отрицательных микропонижений, под которыми они залегают. Грунтовые воды приурочены к лиманам, лиманообразным понижениям, озерам, ерикам, ильменям, западинам, в геологическом строении которых участвуют озерно-аллювиальные отложения. Водовмещающими породами служат суглинки, иногда с прослоями супесей и глин, реже супеси, суглинки и пески. Мощность водосодержащей толщи повсеместно изменяется в пределах 1-3 м.

Воды безнапорны, глубина их залегания изменяется в пределах 5-7 м от поверхности. Водоупором служат прослойки глин хвалынского возраста. При отсутствии их воды рассматриваемого горизонта соединяются с подстилающим его хвалыньским водоносным горизонтом. Глубина залегания водоупора около 9 м.

Грунтовые воды, приуроченные к понижениям рельефа, отличаются более низкой минерализацией по сравнению с водами других водоносных горизонтов. Подобная закономерность объясняется интенсивной промывкой пород от растворимых солей в отрицательных формах рельефа. Величина плотного

остатка подземных вод описываемого горизонта, как правило, равна 0,5-0,9 г/л, редко 1-3 г/л. Химический состав вод не отличается разнообразием: пресные воды преимущественно гидрокарбонатно-кальциевые, иногда также с поверхности содержат магний или натрий. Слабоминерализованные воды встречаются чаще, и, в основном, смешанного типа – хлоридно-сульфатно-натриево-магниевые.

Питание водоносного горизонта происходит, преимущественно за счет талых и дождевых вод, скопившихся в днищах лиманов, западин, озер.

Водоносный горизонт в морских хвалынских отложениях ($mQ_{\text{пнV}}$) развит на всей площади морской хвалынской аккумулятивной равнины, имеющей самое широкое распространение на описываемой территории. Водовмещающими породами являются буроватые суглинки, супеси, тонко- и мелкозернистые пески, иногда с прослоями глин. В строении комплекса водовмещающих пород наблюдается определенная закономерность: верхняя часть разреза выполнена, в основном, суглинками и супесями с прослоями песков, в нижнем – преобладают пески. Общая мощность водовмещающих пород изменяется от 0,5 до 15-20 м реже до 30 м на востоке и юго-востоке описываемой площади.

Воды хвалынских отложений на большей части площади своего развития безнапорны. Но местами они перекрыты озерными и соровыми отложениями, с

которыми на отдельных участках имеют гидравлическую связь. Водоупором являются тяжелые суглинки и глины нижнехвалынского и верхнехазарского возрастов. Водоупорные слои развиты неповсеместно, на отдельных участках они имеют небольшую мощность (1-3 м) и линзовидный характер залегания, вследствие чего хвалынский горизонт непосредственно соединен нижним водоносным горизонтом. В тех местах исследуемой площади, где грунтовые воды имеют локальные водоупоры, сложенные одновозрастными суглинками и глинами, воды обладают напором, величина которого достигает 5-8 м, редко больше.

В Приволжской полосе хвалынские отложения не содержат водоносного горизонта, так как здесь они полностью дренированы.

Глубина залегания грунтовых вод определяется рельефом: в понижениях она колеблется в пределах от 1,5 до 5 м, на повышенных участках преобладают глубины 7-10 м.

Породы хвалынского яруса характеризуются слабой водопроницаемостью, обогащены воднорастворимыми солями, загипсованы. Часто эти породы до глубины первого от поверхности горизонта грунтовых вод трещиноваты, что сказывается на их фильтрационных свойствах. Коэффициенты фильтрации для глинистых разностей составляют 0,015-0,18 м/сут, для суглинистых 0,12-0,57 м/сут.

Минерализация вод пестрая, от 15-20 г/л до 30 г/л и более, тип засоления сульфатно-хлоридно-натриевый, кальциевый, гидро-карбонатно-натриевый, магниевый.

Питание грунтовых вод в естественных условиях осуществляется за счет инфильтрации осенне-зимних и весенних атмосферных осадков. На отдельных участках некоторую роль играет также фильтрация речных долин и подток воды из более глубоких водоносных горизонтов.

Водоносный горизонт хазарских отложений ($Q_{дhz}$) распространен на большей части рассматриваемой территории. На всей площади своего развития хазарский водоносный горизонт является вторым от поверхности или представляет единый водоносный горизонт с водами хвалынских отложений.

К хазарским отложениям приурочен основной горизонт подземных (чаще напорных) вод. Величина напора, в среднем 24-43 м, преимущественно 5-15 м. Коэффициент фильтрации водоносных отложений составляет 0,07-7,3 м/сут.

Пьезометрические уровни устанавливаются на глубине 6-12 м от поверхности земли, то есть близко к уровню грунтовых вод. Водоупором являются плотные глины бакинских отложений.

Уровни подземных вод залегают на глубине от 3-12 до 20-30 м, редко до 40 м. Величина сухого остатка изменяется от 2,5 г/л до 140 г/л. Различия в степени минерализации вод на разных участках описываемой площади в значительной мере связаны с особенностями геологического строения.

По химическому составу воды преимущественно сульфатно-магниевые-натриевые, гидрокарбонатно-натриевые, кальциевые, сульфатно-хлоридные.

Питание подземных вод хазарских отложений осуществляется, в основном, за счет подтока из других водоносных горизонтов и частично за счет атмосферных осадков, выпадающих на незначительной площади выхода их на дневную поверхность.

Водоносный горизонт в бакинских отложениях (Qb), залегают на глубине от 64 до 114 м. Бакинские отложения представлены коричневатобурыми, темно-серыми и серовато-синими глинами, под которыми залегают слои водоносных песков с редкими линзами суглинков.

Водоупором служат бакинские, красно-бурые и апшеронские глины. Воды преимущественно минерализованы. Минерализация доходит до 10 г/л и больше. Воды в основном хлоридно-натриевого типа.

В целом гидрогеологические условия рассматриваемой территории неблагоприятны

(отсутствие естественной дренированности, высокая минерализация). Развитие орошения неизбежно будет сопровождаться интенсивным подъемом грунтовых вод, что потребует осуществить сложный комплекс мелиоративных мероприятий по предупреждению заболачивания и засоления орошаемых земель.

Климат. Климат Прикаспийской низменности острозасушливый и резко континентальный.

В Прикаспийской низменности осадков выпадает мало, поэтому часто повторяются засухи и суховеи, а годы с достаточным количеством осадков бывают очень редко.

На обширной территории Прикаспийской низменности основные особенности климата (большие колебания годовых и суточных температур, недостаток атмосферных осадков, сухость воздуха и высокая интенсивность испарения) усиливаются с севера на юг и с запада на восток.

Северная часть Прикаспийской низменности с каштановыми и светло-каштановыми почвами относится к полупустыне, а южная часть с бурыми почвами – к пустыне.

Среднее годовое количество осадков в северной части полупустыни колеблется в пределах от 265 до 300 мм.

В течение вегетационного периода осадки выпадают неравномерно и в недостаточном количестве. Ливневый характер выпадания осадков не позволяет растениям полностью их использовать – большая часть их расходуется на испарение.

Средняя годовая температура воздуха варьирует в пределах 5,4 – 7,0°C. Средняя и месячная температура ниже нуля отмечается в течение пяти месяцев (ноябрь – март). Весной температура быстро нарастает. По этой причине происходит быстрое снеготаяние, обуславливая бурный весенний паводок и слабую промачиваемость почв. В результате весенние запасы продуктивной влаги быстро используются сельскохозяйственными культурами, которые уже к началу июня начинают испытывать острый недостаток воды.

Для Прикаспийской низменности характерно превышение испаряемости с открытой водной поверхности над количеством выпадающих осадков. Испаряемость, как и повышение температуры, закономерно увеличивается с севера на юг, а количество выпавших осадков соответственно уменьшается. На севере низменности испарение составляет 845 мм (Саратов), а на юге оно доходит до 986 мм (Волгоград); 1022 мм (Эльтон) и более.

Наличие большого числа дней с суховеями усиливает засушливость климата Прикаспийской низменности.

Сильная засушливость климата, часто повторяющиеся засухи – все это вызывает настоятельную необходимость применять орошение на территории Прикаспийской низменности.

Почвы. Почвенный покров Прикаспийской низменности, несмотря на довольно однообразный рельеф, отличается большой комплексностью. Трехчленные компоненты комплекса являются закономерным явлением. Каштановые почвы, различные разновидности солонцов, луговые почвы часто сменяют друг друга. Кроме того, многочисленные холмики землероев, пятна солонцов, лиманы с осолоделыми почвами и солодями создают своеобразие почвенного покрова, отличающего Прикаспийскую низменность от других геоморфологических районов.

Комплексность почвенного покрова определяется рельефом, создающим различные условия увлажнения, свойствами почвообразующих пород, особенностями солевого состава.

Основными почвообразующими породами являются суглинки разного механического состава, супеси, пески, суглинки, бурые и светло-бурые, плотные, имеющие невысокую естественную влажность, насыщенные карбонатами кальция.

Минерализация грунтовых вод колеблется от 0,5-1,0 г/л под темноцветными почвами до 3-5 г/л иногда 8-10 г/л под солонцами и более. Грунтовые воды залегают на глубине от 5-7 м до 15-20 м.

Почвенный покров Хвалынской равнины представлен черноземными (29 %), темно-каштановыми и каштановыми почвами (71 %). Наряду с зональными типами почв широкое развитие получили солонцы [23, 24, 30, 37].

В 1960-1970 годы в пределах Прикаспийской низменности были проведены гидрогеологические и геохимические исследования, которые подтвердили сделанные ранее выводы в отношении направленности формирования регионального солевого баланса [1, 14, 15, 18, 24, 36, 37]. Обобщение и анализ имеющихся данных позволил в самом общем виде оценить региональный солевой баланс Прикаспийской низменности, а также влияние климата, гидрогеологических и геохимических условий на формирование солевого режима почв. Региональный солевой баланс можно записать в следующем виде [1, 14, 15, 21, 24, 36, 37]:

$$\Delta G = G_1 + G_2 - G_3, \quad (2.5)$$

где: ΔG – изменение запасов солей, т; G_1 – поступление солей с окружающих территорий с подземными водами, т; G_2 – поступление солей с

атмосферными осадками, т; G_3 - отток солей с подземными водами в Каспийское море.

$G_1 = \Pi \times C_{\Pi} = 2,4$ млн. т/год. Здесь $\Pi = 1,2$ млрд. м³/год, C_{Π} - минерализация подземных вод - 2 г/л [8, 36];

$G_2 = O_c \times C_0 \times F = 1,8$ млн. т/год. Здесь O_c - сумма атмосферных осадков равная 300 мм, C_0 - минерализация атмосферных осадков - 0,05 г/л; F - площадь низменности - 12 млн. га [14, 19, 24];

$$G_3 = 4,4 \text{ млн. т/год [15].}$$

$$\Delta G = 2,4 + 1,8 - 4,4 = - 0,2 \text{ млн. т/год}$$

Приведенные данные являются ориентировочными, они дают лишь общее представление о соотношении приходных и расходных элементах солевого баланса и не позволяют оценить солевой режим почв. Для оценки влияния климатических, гидрогеологических и геохимических условий на солевой режим почв были использованы модели влаго- и солепереноса в почвах, разработанные С.Ф. Аверьяновым. Эти модели были проверены в опытно-производственных условиях Средней Азии в 1963-1970 г.г. и рекомендованы для использования в практике проектирования [1, 4, 32, 33, 34, 38, 39]. В качестве исходных данных для расчетов были использованы: средне многолетие суммы осадков (300 мм); испарение с поверхности почвы (295 мм);

промывной режим (5 мм); глубина, на которой содержание солей постоянно (2 м); коэффициент гидродинамической дисперсии (0,5 м), уровень грунтовых вод > 5 м. Расчет был выполнен по несорбирующемуся иону Cl для различных периодов времени T. T₀ – начальный период, T₁ – промежуточный, T₂ – современный период. Фактическое содержание Cl в почвах в настоящее время принято по данным [14, 18, 23, 24, 30]. Результаты расчетов приведены в таблице 2.7.

Таблица 2.7

Сопоставление расчетных и фактических данных по содержанию Cl в почвах

Расчетный слой почвы, см	Исходное содержание Cl при T ₀	Содержание Cl при T ₁	Содержание Cl при T ₂	Фактическое содержание Cl
20	1,0	0,79	0,41	0,23
40	1,0	0,81	0,45	0,29
60	1,0	0,85	0,50	0,51
80	1,0	0,90	0,55	0,57
100	1,0	0,95	0,61	0,75
120	1,0	1,0	0,68	0,79
140	1,0	1,0	0,74	0,85
160	1,0	1,0	0,82	0,96
180	1,0	1,0	0,90	0,98
200	1,0	1,0	1,0	1,0

Приведенные данные показали, что разработанные и проверенные в условиях Средней Азии модели позволяют с достаточной точностью описать перенос несорбирующихся ионов хлора в черноземных

и каштановых почвах. Для оценки переноса ионов Са, Mg и Na и формирования химического режима поровых растворов и состава ППК, а также для разработки методов управления солевым режимом почв эти модели не пригодны.

2.4 Цели и задачи опытно-производственных исследований в степной и сухостепной зонах

Основной целью опытно-производственных исследований, как и в пустынной зоне, является изучение процессов функционирования природных систем и методов управления ими. Учитывая специфические особенности природных условий степной и сухостепной зон, состав исследований включает:

- изучение процессов формирования водного и солевого режимов и балансов земель в естественных условиях и в различные периоды их орошения и освоения;

- разработку математических моделей совместного переноса ионов Са, Mg и Na в почвах, опытно-производственная их проверка и возможность использования для обоснования техники и технологии орошения черноземных и каштановых почв;

- разработку методов расчета и технологии химической мелиорации солонцов;

- разработку пределов регулирования водного и солевого режимов орошаемых черноземных и каштановых почв;

- разработку методов расчета и обоснования режима орошения сельскохозяйственных культур с учетом требований почв;

- оценку качества поливных вод с точки зрения применения их для орошения черноземных и каштановых почв;

- разработку методов определения необходимых гидрофизических и гидрохимических параметров почв;

- требований к составу и точности проектно-изыскательских работ.

Список литературы к главе 2

1. Аверьянов С.Ф. Некоторые вопросы предупреждения засоления орошаемых земель и меры борьбы с ним в Европейской части СССР. М, Колос, 1965.
2. Аверьянов С.Ф., Айдаров И.П. Капитальные промывки и горизонтальный дренаж. Хлопководство, № 12, 1972.
3. Айдаров И.П. Регулирование водно-солевого и питательного режимов орошаемых земель. М, ВО «Агропромиздат», 1985.
4. Айдаров И.П. К вопросу обоснования режима орошения и параметров дренажа на засоленных или склонных к засолению землях. М, труды ВАСХНИЛ, 1971.
5. Антипов-Каратаев И.Н., Филиппова В.Н. Влияние длительного орошения на почвы. М, АН СССР, 1955.
6. Базилевич Н.И., Родин Л.Е. Биологическая продуктивность и круговорот химических элементов в растительных сообществах. Л, Наука, 1971.
7. Будыко М.И. Тепловой баланс земной поверхности. Л, Гидрометеиздат, 1956.

8. Валяшко М.Г. Основы геохимии природных вод. в кн. Геохимия подземных вод. М, МГУ, 1971.
9. Вильямс В.Р. Общее земледелие с основами почвоведения. М, Сельхозгиз, 1931.
10. Возбуждая А.Е. Химия почв. М, Высшая школа, 1964.
11. Волобуев В.Р. Почвы и климат. Баку, АН АзССР, 1953.
12. Гапон Е.Н. Динамика ионного обмена. Прикладная химия, 1948, т. XXI, вып. 9.
13. Гедройц К.К. Избранные труды. М, Наука, 1970.
14. Герасимов И.П., Иванова Е.Н. О географических типах солевого баланса и формах солеобмена в коре выветривания. Проблемы физической географии. М, 1936, вып. 3.
15. Глазовский Н.Ф. Подземная составляющая ионного баланса Каспийского моря. В кн. «Взаимосвязь поверхностных и подземных вод.» М, 1973.

16. Григорьев А.А. Опыт характеристики основных типов физико-географической среды. В кн. «Проблемы физической географии.» Т. 11, 1942.
17. Григорьев А.А. О взаимосвязи и взаимообусловленности компонентов географической среды и о роли в них обмена веществом и энергией. Изв. АН СССР, сер. Географическая, 1956, № 4.
18. Засоленные почвы Европейской части СССР и Закавказья. Тр. Почвенного института им. В.В. Докучаева, М, 1973.
19. Иванов Н.Н. Зоны увлажнения земного шара. Изв. АН СССР, сер. Географических и геофизических наук, 1941, № 3.
20. Исаченко А.Г. Ландшафтоведение и физико-географическое районирование. М, Высшая школа, 1961.
21. Исследование действия вертикального и горизонтального дренажа на опытном участке Канибадамского массива. М, НИС МГМИ, 1969. Рукопись.
22. Исследование действия горизонтального дренажа на опытном участке Канибадамского массива. М, НИС МГМИ, 1965. Рукопись.

23. Кистанов Н.С. Процессы засоления-рассоления и осолонцевания почв при лиманном орошении. Труды ВолжНИИГиМ, т.3, ч. 3, 1970.
24. Ковда В.А. Почвы Прикаспийской низменности (северо-западной части). М-Л, АН СССР, 1950.
25. Ковда В.А., Егоров В.В. Мелиорация почв в СССР. М, Наука, 1971.
26. Корольков А.И. Влияние орошения на водно-солевой режим и почвенные процессы предкавказских черноземов. Канд. Дис. М, 1986.
27. Костяков А.Н. Основы мелиорации. М, Сельхозгиз, 1960.
28. Никольский Б.П. Обменная адсорбция катионов в почвах. Почвоведение, 1934, № 2.
29. Обобщение отечественного и зарубежного опыта борьбы с засолением орошаемых земель. М, НИС МГМИ, 1968. Рукопись.
30. Польшов Б.Б. Избранные труды. М, АН СССР, 1956.

31. Разработка методов расчета дренажа и промывок засоленных земель Голодной степи на основе полевых производственных исследований. М, НИС МГМИ, 1966. Рукопись.
32. Разработка методов расчета дренажа и промывок засоленных земель Голодной степи на основе полевых производственных исследований. М, НИС МГМИ, 1970. Рукопись.
33. Расчет капитальных промывок и временного дренажа. М, НИС МГМИ, 1966. Рукопись.
34. Рекс Л.М. Определение параметров переноса солей. В кн. «Теория и практика борьбы с засолением орошаемых земель.» М, Колос, 1971.
35. Роде А.А. Водный режим почв и его типы. Почвоведение № 4, 1956.
36. Садыков Ж.С. Подземный сток в глубоких горизонтах Прикаспийской впадины. Тр. Ин-та гидрогеологии и геофизики АН КазССР, Алма-Ата, 1968, № 1.
37. Сергеев В.А. Грунтовые воды Прикаспийских и Приаральских полупустынь. Л, ЛГУ, 1937.

38. Технические указания по промывкам. М, НИС МГМИ, 1969, рукопись.
39. Технические указания по расчету дренажа и промывок. М, НИС МГМИ, 1969. Рукопись.
40. Шашко Д.И. Агроклиматическое районирование СССР. М, Колос, 1967.
41. Черноземы СССР Т.1., М., Колос 1974.
42. Ахтырцев Б.Н. Почвенные комплексы Окскодонской низменности. Изв., Воронежского отдела географического общества СССР, вып.4, 1962.
43. Агроклиматические ресурсы Ростовской области, Л., 1972.
44. Доскач А.Г. Основные черты геоморфологии бессточных впадин Волго-Уральского междуречья. В сб. «Природа и кормовые особенности растительности лиманов», М-Л., АН СССР, 1956.
45. Доскач А.Г. Природа северной части Волго-Уральского междуречья. Почвы комплексной равнины северного Прикаспия и их мелиоративная характеристика. М., «Наука», 1964.

46. Схема развития орошения в районах Нижнего и Среднего Поволжья, и междуречья Волга – Урал, Ленгипроводхоз, 1969.
47. Каменский Г.Г. Принципы гидрогеологического районирования СССР. В кн. «Вопросы изучения подземных вод и инженерно-геологических процессов». М., АН СССР, 1955.
48. Слипченко А.А. Регулирование водно-солевого режима комплексных почвогрунтов при влагозарядковом орошении на примере Волгоградского Заволжья. Кан.дис. М., 1974.
- 49 Исследование водного и солевого режимов земель искусственного лиманного орошения на Кисловской оросительной системе. –М., НИС МГМИ, 1974, рукопись.
- 50 Гидрология СССР. Т.28. Нижний Дон и Приозовье. –М., 1972.

Глава 3

Методика исследований и оборудование опытно-производственных участков

Методика исследований, первоначально разработанная для условий Средней Азии, по мере получения новых знаний, совершенствовалась и адаптировалась к другим природно-климатическим зонам. В книге приводится уточненный вариант методики.

3.1 Основные методические принципы исследований.

Методика опытно-производственных исследований основана на общих принципах системного анализа. Междиорация земель, как известно, оказывает существенное влияние на все компоненты природной системы. Направленность и интенсивность этого влияния определяются особенностями природно-хозяйственных условий. В связи с этим, первым принципом исследований является изучение процессов функционирования природной системы, подразумевающее количественную оценку процессов массопереноса, протекающих во всех ее взаимосвязанных компонентах (атмосфера, биота, почва, почвообразующие породы, поверхностные и подземные воды).

Эффективность результатов исследования, в смысле возможности их использования на других объектах, зависит от репрезентативности опытно-производственных участков для той или иной территории. Таким образом, вторым принципом исследований является типичность опытно-

производственных участков для рассматриваемой территории.

Третий принцип исследований заключается в рандомизации систематически действующих природных и хозяйственных факторов, трудно поддающихся учету и контролю. Этот принцип особенно важен для проведения опытно-производственных исследований и включает статистическое изучение варьировемости основных явлений и процессов во времени и пространстве.

Приведенный перечень принципов не претендует на исчерпывающую полноту, он охватывает лишь основные вопросы планирования экспериментов. При изучении процессов формирования водного и геохимического режимов орошаемых земель и методов управления ими необходимо одновременно учитывать большое число плохо поддающихся разграничению явлений, таких как диффузия, гидродинамическая дисперсия, кинетика ионообменной сорбции, тепло- и массообмен, динамика подземных вод и т.д. К решению этой проблемы целесообразно подойти, используя идеи и методы многофакторного эксперимента, предусматривающего одновременное варьирование возможно большим числом переменных. Преимущества многофакторного эксперимента заключается в том, что он позволяет исследовать совместное влияние большинства факторов на изучаемые процессы и установить области применения полученных результатов [2, 6, 12, 13, 14, 15, 22, 23, 25, 26, 28]. При постановке эксперимента необходимо обращать внимание на логическое обоснование гипотезы о характере законов распределения случайных величин.

Установление законов распределения и изменения их характеристик в процессе эксперимента позволяет решить ряд важных практических задач (направленность природных процессов, сроки проведения солевых съемок, число и размещение точек опробования).

Использование методов многофакторного эксперимента потребовало четкого обоснования выбора объектов исследований и типичности опытно-производственных участков. Выбор конкретных объектов исследований был основан на анализе задач мелиорации земель в различных природных зонах страны и типизации мелиорируемых территорий. Признаки, по которым выбирались объекты, вытекают из особенностей почвенно-мелиоративных, гидрогеологических и геохимических условий. Для пустынной зоны это территории, расположенные в зонах подпора водохранилищами и разгрузки подземных потоков, характеризующихся наличием напорных подземных вод и сильным засолением почв; для сухостепной зоны – недостаточно дренированные или бессточные территории нового орошения, с относительно близким залеганием уровня минерализованных грунтовых вод, засоленными и солонцеватыми каштановыми почвами; в степной зоне – в основном незасоленные черноземы, формирующиеся в автоморфных и вторично гидроморфных условиях.

3.2 Объекты исследований

В качестве объектов исследований были выбраны:

- Канибадамский массив, расположенный в зоне разгрузки подземного потока и подпора со стороны Кайраккумского водохранилища;

- Голодная степь (1-я очередь), в зоне напорных подземных вод, приуроченных к пролювиальным и аллювиальным отложениям;

- Заволжье в пределах Хвалынской равнины на вновь орошаемых землях (Кисловская оросительная система);

- Азово-Кубанская равнина на черноземных землях, орошаемых более 30 лет (Азовская оросительная система) и 5-7 лет (Приморская оросительная система). Таблица 3.1

Таблица 3.1.

Общая характеристика объектов исследований

Геоморфология	Геология	Гидрогеология	Почвы
Пустынная зона Канибадамский массив			
Расположен в пределах подгорной равнины и долины р. Сырдарья в зоне подпора со стороны Кайраккумского водохранилища	Сложен с поверхности толщей слабопроницаемых аллювиальных отложений, подстилаемых галечниками на глубине около 100 м. Коэффициент проницаемости – 0,14-0,45 м/сут	Зона разгрузки подземного потока. Грунтовые воды залегают на глубине 1-3 м. Минерализация – 10-50 г/л. Подземные воды напорные. Естественная дренированность отсутствует.	Почвы – хлоридно-сульфатные пухлые солончаки. Содержание солей в слое 0-1м – 6,72 %, 1-2м – 1,46%

Голодная степь			
Межконусное понижение, образованное концевыми участками древних конусов выноса	Сложено с поверхности толщей del-pr отложений, мощностью около 40 м, подстилаемых песчано-галечниковыми отложениями. К _ф покровных отложений – 0,1-0,4 м/сут.	Слабо дренированная зона. Грунтовые воды залегают на глубине 1-4 м. минерализация 10-50 г/л. Подземные воды напорны.	Почвы – сероземно-луговые в комплексе с солончаками. Тип засоления сульфатный, реже хлоридно-сульфатный. Содержание солей в слое 0-1 м – 1.3 %; 1-2 м – 1.1%
Сухостепная зона			
Кисловская оросительная система			
Прикаспийская низменность, Хвалынская равнина.	Сложена с поверхности хвалынскими морскими отложениями мощностью 10-20 м, подстилаемыми песками. К _ф покровных отложений 0,2-0,5 м/сут	Бессточная зона. Грунтовые воды залегают на глубине 1,5-5 м. минерализация – 15-30 г/л	Почвы – светло-каштановые и лугово-каштановые в комплексе с солонцами и солончаками. Тип засоления – хлоридно-сульфатный. Содержание солей в слое 0-1 м – 0,2 %; 1-2 м – до 1 %
Степная зона			
Азовская оросительная система			
Надпойменная терраса реки Дон в месте примыкания ее к приводораздельному склону	Сложена толщей eol-del отложений мощностью 5-12 м, подстилаемых песчаными отложениями.	Слабо дренированная зона. Грунтовые воды залегают на глубине 1-3 м. минерализация 0,8-5,5 г/л	Почвы – предкавказские черноземы, слабо засоленные и слабо солонцеватые

	$K_f - 0,2-1,2$ м/сут		Содержание солей в слое 0-1 м – 0,05-0,3 %; 1-2 м > 0,3. ППК – 25-30 мг-экв/100 г, содержание Na в ППК не превышает 5%.
Приморская оросительная система			
Водораздельная равнина рек Дон - Кагальник	Сложена с поверхности толщей eol-del отложений мощностью 30-40 м, подстилаемых песками. $K_f - 0,15-1,73$ м/сут	Дренажная зона. Грунтовые воды залегают на глубине 30-40 м. Минерализация – 1-10 г/л	Почвы – предкавказские черноземы, не засоленные и не солонцеватые. Содержание солей в слое 0-1 м – 0,05-0,1 %; 1-2 м – 0,1-0,3 %. ППК – 30-40 мг-экв/100 г. Содержание Na в ППК не превышает 1-3 %.

3.3 Характеристика опытно-производственных участков

Детальные геолого-литологические, гидрогеологические и почвенно-мелиоративные изыскания на всех опытно-производственных участках выполнялись силами

сотрудников экспедиций. Состав изысканий включал изучение следующих показателей [1, 3, 4, 6, 7, 9, 10, 17, 23, 25]:

- особенность литологического строения;
- мощность и коэффициент фильтрации покровных отложений;
- уровни и минерализацию грунтовых вод;
- пьезометрические напоры подземных вод;
- содержание и химизм солей в почвах;
- величины емкости поглощения;
- содержание илистой фракции;
- пористость почв;
- максимальная молекулярная влагоемкость;
- высота капиллярного поднятия.

Канибадамский опытно-производственный участок расположен в центральной пониженной части массива в типичных для данного объекта гидрогеологических и почвенно-мелиоративных условиях. Рис 3.1

Участок площадью 138,9 га разделен на 3 поля открытыми дренами глубиной 3,5 м и междренными расстояниями 400 м, дрены впадают в открытый коллектор глубиной 4,5 м. Открытый дренаж не обеспечивает

требуемого понижения уровня грунтовых вод (грунтовые воды залегают на глубине 1-2 м).

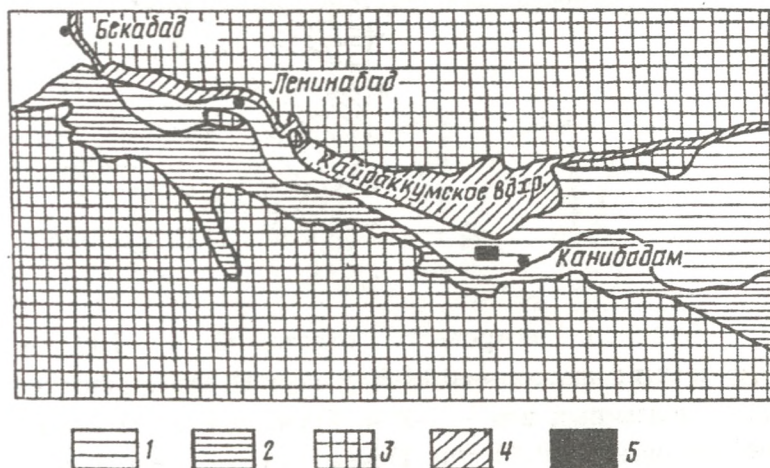


Рис. 3.1 Схема геоморфологического районирования западной части Ферганской долины:

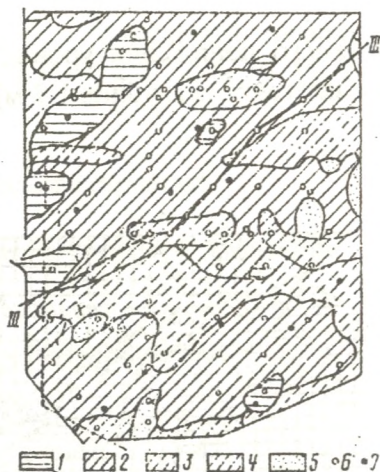
1 — пролювиальная равнина конусов выноса рек; 2 — аллювиально-пролювиальная равнина современных конусов выноса; 3 — адыры; 4 — река и водохранилище; 5 — опытно-производственный участок.

Покровные отложения до глубины 3-х м сложены, в основном, суглинками, глубже — преобладают супеси.
Рис.3.2

Подстилающие породы (4-10 м) отличаются большой слоистостью и слабой водопроницаемостью.

Рис. 3.2 Геолого-литологическое строение Канибадамского опытно-производственного участка:

1 — глины, переслаивающиеся супесями и песками, тяжелые суглинки; 2 — средние и легкие суглинки, переслаивающиеся супесями и песками; 3 — супеси тяжелые; 4 — супеси средние и легкие с прослоями песка; 5 — пески разнозернистые; 6 — разведочные скважины; 7 — шурфы.



Мощность покровных отложений — 100 м, коэффициент фильтрации 0,14-0,45 м/сут. Пьезометрические напоры подземных вод — 1-2 м. Грунтовые воды сильно минерализованы (10-50 г/л). Почвы участка представлены пухлыми солончаками хлоридно-сульфатного типа [17]. Основные водно-физические и физико-химические свойства почв представлены в таблице 3.2

Таблица 3.2

Водно-физические и физико-химические свойства почв

Показатели	Значения
Содержание солей в слое 0-200 см, %	3,03
Содержание хлора в слое 0-200 см, %	0,21
Высота капиллярного поднятия, м	1,75
Пористость, в долях от объема	0,40
Максимальная молекулярная влагоемкость, в долях от объема	0,12
ППК, мг-экв/100 г	10
Содержание илистой фракции, %	10

Результаты статистической обработки данных солевой съемки (157 скважин) показали, что распределение случайных величин содержания хлора подчиняются логнормальному распределению с правосторонней асимметрией. Это свидетельствует о продолжении процесса соленакопления. Рис.3.3

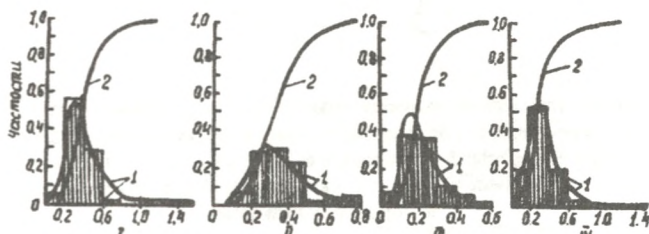


Рис.3.3. Распределение случайных величин содержания хлора в 2х метровом слое почвогрунтов Канибадамского опытно-производственного участка: I, II, III – поля 1, 2, 3 ; IV – опытный участок ; 1-эмпирические и теоретические кривые частостей 2- интегральные кривые частостей

Проектирование и строительство закрытого дренажа на опытном участке выполнено сотрудниками экспедиции. При проектировании дренажа в качестве расчетной была принята схема работы горизонтального дренажа в условиях инфильтрационного и напорного питания при $B/T \leq 3$ [3]. Параметры закрытого дренажа: глубина заложения – 3,5 м, расстояния между дренажами – до 400 м. Рис.3.4.

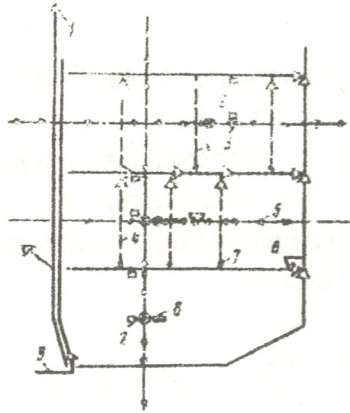


Рис.3.4 План КаниБАЛАМСКОГО опытно-производственного участка:
 1 – водосливы; 2 – почвенные площадки; 3 – кусты пьезометров;
 4 – закрытые дрены; 5 – скважины; 6 – открытые дрены и коллекторы;
 7 – смотровые колодцы; 8 – актинометрическая площадка;
 9 – оросительный канал

Голодностепский опытно-производственный участок площадью 443,5 га расположен в совхозе № 5 имени Ю.А.Гагарина Сырдарьинской области Узбекистана в пределах межконусного понижения. Рис 3.5



Рис 3.5. Рельеф центральной части I очереди орошения Южного голодностепского канала

Покровные отложения мощностью около 40 м характеризуются высокой слоистостью, слабой водопроницаемостью ($K_{\phi} = 0,1-0,4$ м/сут.) и подстилаются песками и галечниками. Пьезометрический напор подземных вод – 0,5-1,0 м. Рис 3.6 ; 3.7



Рис. 3.6 Геолого-литологическое строение Голодностепского опытно-производственного участка:
1 – тяжелые суглинки; 2 – средние суглинки; 3 – средние пылеватые суглинки; 4 – легкие суглинки.

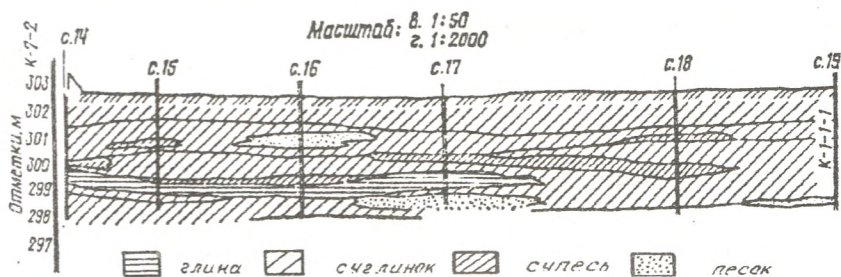


Рис 3.7 Геолого-литологический разрез Голодностепского опытно-производственного участка

Глубина залегания грунтовых вод – 1-4 м, минерализация – 10-50 г/л, тип засоления сульфатный и хлоридно-сульфатный. Почвы участка относятся к гидроморфному ряду – сероземно-луговым в комплексе с

солончаками [21, 26]. Основные водно-физические и физико-химические свойства почв представлены в таблице 3.3

Таблица 3.3

Водно-физические и физико-химические свойства почв

Показатели	Значения
Содержание солей в слое 0-200 см, %	0,93
Содержание хлора в слое 0-200 см, %	0,054
Высота капиллярного поднятия, м	3,21
Пористость, в долях от объема	0,45
Максимальная молекулярная влагоемкость, в долях от объема	0,16
ППК, мг-экв/100 г	10
Содержание илистой фракции, %	15

Результаты статистической обработки данных солевых съемок (более 200 скважин) показали, что в слое 0-200 см происходит накопление ионов хлора, глубже – содержание хлора стабильно [21]. Рис 3.8

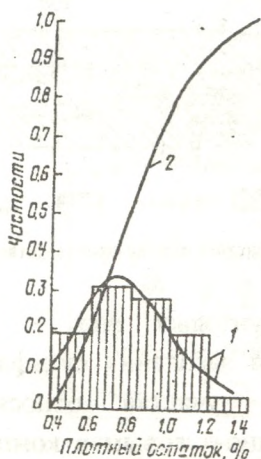


Рис. 3.8 Распределение случайных величин плотного остатка в двухметровом слое почвогрунтов Голодноостепского участка:

1 – экспериментальные и теоретические кривые частот;
2 – интегральные кривые частот.

Распределение солей в зоне аэрации подчиняется логнормальному закону с правосторонней асимметрией. Это свидетельствует о процессах накопления солей в зоне аэрации и грунтовых водах.

Дренажная сеть опытного участка представлена двумя открытыми коллекторами глубиной 4,5-5 м, проходящими по границам и шестью системами закрытых дрен глубиной 3-3,5 м и междренными расстояниями 150-250 м. Рис. 3.9

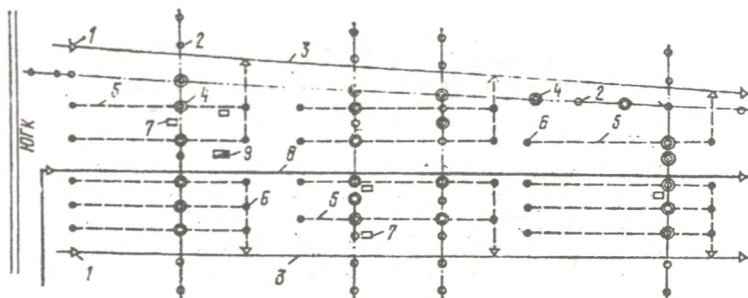


Рис.3.9. План Голодностепского опытно-производственного участка: 1 -- водосливы; 2 -- сдвигины; 3 -- открытые дрены и коллекторы; 4 -- кусты пьезометров; 5 -- закрытые дрены; 6 -- смотровые колодцы; 7 -- почвенные площадки; 8 -- оросительный канал; 9 -- актинометрические площадки.

Кисловский опытно-производственный участок площадью 96,4 га расположен в пределах Кисловской оросительной системы. Участок с поверхности сложен толщей суглинистых отложений мощностью 10-20 м и $K_{\phi} = 0,2-0,5$ м/сут, подстилаемыми хазарскими песками с $K_{\phi} = 7-7,5$ м/сут. и глинами мощностью 30-35 м. Грунтовые воды расположены на глубине 1,5-5 м и имеют минерализацию 15-30 г/л. Рис 3.10; 3.11.

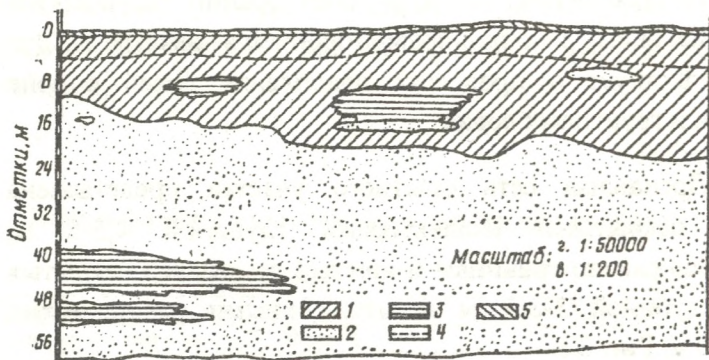


Рис. 3.10 Геолого-литологический разрез по Кисловокому опытно-производственному участку:

1 — хвалыинские отложения — суглинки и супеси; 2 — хазарские отложения — пески; 3 — хазарские отложения — глины; 4 — уровень грунтовых вод; 5 — почвенный слой.

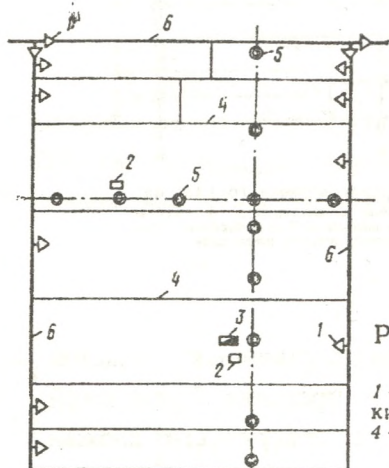


Рис. 3.11 План Кисловокого опытно-производственного участка:

1 — водосливы; 2 — почвенные площадки; 3 — актинометрическая площадка; 4 — земляные вали; 5 — кусты пьезометров; 6 — оросительные каналы.

Почвы участка — светло-каштановые, отличаются высокой комплексностью; солонцы и солончаковитые почвы занимают 15-30 %. Основные водно-физические и

физико-химические свойства почв представлены в таблице 3.4

Таблица 3.4

Водно-физические и физико-химические свойства почв

Показатели	Значения
Содержание солей в слое 0-200 см, %	0,4
Содержание хлора в слое 0-200 см, %	0,006
Высота капиллярного поднятия, м	2.33
Максимальная молекулярная влагоемкость, в долях от объема	0,19
Пористость, в долях от объема	0,50
ППК, мг-экв/100 г	23
Содержание илистой фракции, %	20

Земли Кисловской оросительной системы, включая и опытно-производственный участок, поливаются по крупным (10-20 га) чекам затоплением слоем до 40 см. По существу, это лиманное орошение с тем лишь отличием, что затопление производилось не паводковыми, а просто волжской водой с механическим подъемом.

Это было «ноу-хау» Минводхоза СССР, который стремился упростить и удешевить технику полива и увеличить производительность труда. Последствия такой техники полива сказались довольно быстро, уже к началу опытно-производственных исследований гидрогеологические и почвенно-мелиоративные условия орошаемых земель резко ухудшились. Это и вынудило институт «Волгогипроводхоз» обратиться с просьбой о

проведении опытно-производственных исследований и разработке предложений по совершенствованию техники и технологии орошения земель в Поволжье. Гидрогеологические и почвенно-мелиоративные исследования опытного участка позволили установить направленность геохимических и почвенно-мелиоративных процессов. Распределение случайных величин минерализации грунтовых вод, запасов и химизма солей в зоне аэрации подчиняются логнормальному закону с правосторонней асимметрией. Это свидетельствует о процессах накопления солей в грунтовых водах и зоне аэрации. Рис 3.12.

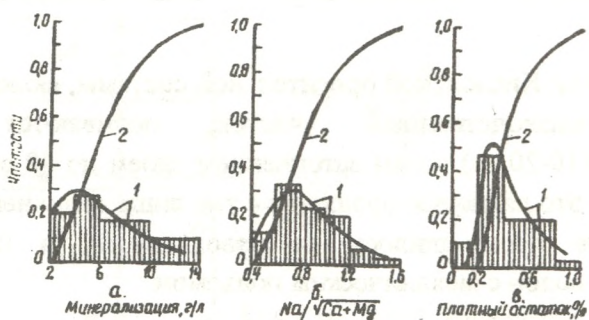


Рис. 3.12 Распределение случайных величин минерализации грунтовых вод (а), отношения $Na/\sqrt{Ca+Mg}$ (б) и плотного остатка (в) на Кисловском опытно-производственном участке:

1 — экспериментальные и теоретические кривые частот; 2 — интегральные кривые частот.

Минерализация грунтовых вод возросла с 2 до 6 г/л, а среднее содержание солей в зоне аэрации с 0,3 до 0,4 % [16, 18]. Однако реальную опасность представляет не

накопление солей, а изменение химического состава и соотношения $\frac{Na}{\sqrt{Ca+Mg}}$, то есть развитие процессов осолонцевания.

Азовский опытно-производственный участок.

Опытно-производственный участок Азовской оросительной системы площадью 76,4 га расположен в пределах второй надпойменной террасы р. Дон Рис. 3.13

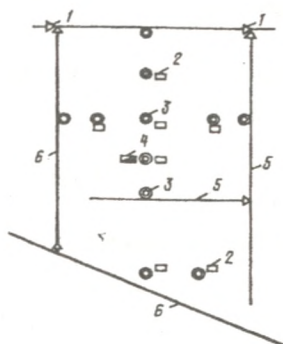


Рис.3.13 План Азовского опытно-производственного участка:

1 — водосливы; 2 — почвенные площадки; 3 — кусты пьезометров; 4 — актинометрическая площадка; 5 — открытая дрена; 6 — оросительная сеть.

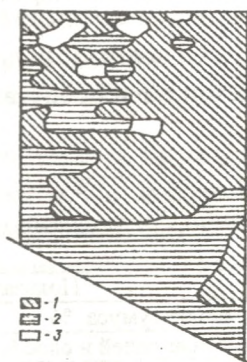


Рис. 3.14 Геолого-литологическое строение Азовского участка:

1, 2, 3 — тяжелые, средние и легкие суглинки.

Участок сложен с поверхности аллювиально-делювиальными породами мощностью 4...12м,

подстилаемыми песками. Рис.3.14. Коэффициенты фильтрации покровных суглинистых отложений – 0,2-1,2 м/сут, подстилающих песков – 1,7-7,1 м/сут. Грунтовые воды в пределах опытного участка приурочены к покровным отложениям и залегают на глубине от 1 до 3м. Минерализация грунтовых вод 0,8-5,5 г/л, тип засоления – сульфатный.

Питание грунтовых вод осуществляется за счет инфильтрации оросительных вод, атмосферных осадков, фильтрационных потерь из оросительных каналов и частично за счет перетока подземных вод.

Основные водно-физические и физико-химические свойства почв представлены в таблице 3.5.

Таблица 3.5

Водно-физические и физико-химические свойства почв

Показатели	Значения
Содержание гумуса, %	2,87
Содержание солей в слое 0-200 см, %	0,11
Содержание хлора в слое 0-200 см, %	0,018
Пористость, в долях от объема	0,46
ППК, мг-экв/100 г	29,00
Содержание илистых фракций, %	35,22

Земли опытного участка, занятые овощными культурами, орошались из открытой оросительной сети дождевальной установкой ДДА-100М. Оросительные нормы – 2100...2500 м³/га. Воду подавали из Азовского магистрального канала.

Приморский опытно-производственный участок

Опытно-производственный участок Приморской оросительной системы площадью 66 га расположен на берегу Таганрогского залива. Рис. 3.15.

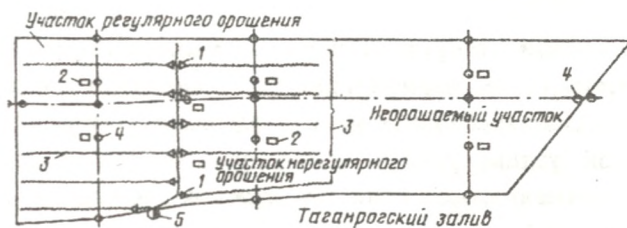


Рис 3.15 План Приморского опытно-производственного участка
1 — водосливы; 2 — почвенные площадки; 3 — временные оросители; 4 — наблюдательные скважины; 5 — насосная станция.

В геоморфологическом отношении участок находится в пределах водораздельной равнины, сложенной с поверхности толщей четвертичных отложений мощностью 30...40 м, подстилаемыми песками озерно-аллювиального генезиса. Рис. 3.16

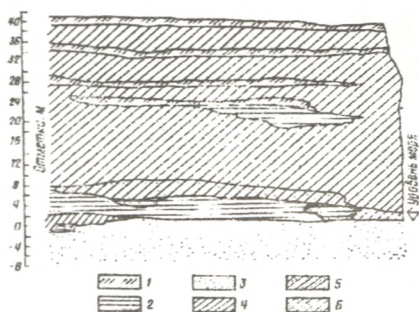


Рис. 3.16 Геолого-литологический разрез по Приморскому опытно-производственному участку:
1 — почвенный слой; 2 — глины; 3 — пески; 4, 5 — тяжелые и легкие суглинки; 6 — супеси легкие.

Коэффициенты фильтрации четвертичных отложений с поверхности (0...1 м) составляют 0,15...1,73 м/сут. Грунтовые воды залегают на глубине 39...40 м и дренируются Таганрогским заливом. Минерализация грунтовых вод – 1,10...9,82 г/л, тип засоления – сульфатный, реже хлоридно-сульфатный.

Почвенный покров опытного участка представлен предкавказскими черноземами, характеризующимися выщелоченностью карбонатов, малым содержанием гипса во всей пятиметровой толще, слабым засолением метрового слоя и слабой солонцеватостью почв (содержание натрия в ППК составляет 1...3%).

Основные водно-физические и физико-химические свойства почв представлены в таблице 3.6.

Таблица 3.6

Водно-физические и физико-химические свойства почв

Показатели	Значения
Содержание гумуса, %	3,61
Содержание солей в слое 0-200 см, %	0,078
Содержание хлора в слое 0-200 см, %	0,005
Пористость, в долях от объема	0,55
ППК, мг-экв/100 г	25,00
Содержание илистых фракций, %	59,40

Орошение велось из открытой оросительной сети дождевальной установкой ДДА-100М, водозабор осуществлялся насосной станцией, расположенной на берегу Таганрогского залива.

Полученные в результате изысканий на опытных участках данные, а также обобщение данных по объектам в целом, позволили оценить типичность выбранных опытно-производственных участков. Для оценки типичности необходимо знать значения расчетных случайных величин признаков по опытным участкам и объектам в целом. Состав необходимых признаков включает характеристику водоносного комплекса, водно-физические, физико-химические свойства и степень засоления почв. Типичность опытных участков определяется по формуле [27]:

$$P_0 = P_1 P_2 P_3 [1 - (1 - P_4)(1 - P_5)] \times \\ \times [1 - (1 - P_6)(1 - P_7)][1 - (1 - P_8)(1 - P_9)(1 - P_{10})], \quad (3.1)$$

где: P_1 и P_2 – коэффициент фильтрации, м/сут и мощность покровных отложений, м; P_3 – емкость поглощения почв, мг-экв/100 г; P_4 – содержание хлора в слое 0-100 см, %; P_5 – содержание Na в почвенном поглощающем комплексе, мг-экв/100 г; P_6 – пористость почв, в долях от объема; P_7 – содержание илистой фракции, %; P_8 – уровень грунтовых вод, м; P_9 – пьезометрический напор подземных вод, м; P_{10} – минерализация грунтовых вод, г/л.

Набор признаков и широкие пределы эталонных диапазонов ($\pm 3\sigma$) учитывают основные требования рандомизации. Выполненные расчеты показали, что выбранные участки типичны для 42-81 % площадей рассматриваемых объектов. Таблица 3.7.

Таблица 3.7

Типичность опытно-производственных участков

При знак	Опытно-производственный участок				
	Канибадам ский	Голодностеп ский	Кислов ский	Примор ский	Азовский
P ₁	0,90	0,83	0,92	0,96	0,82
P ₂	0,92	0,80	0,78	0,75	0,94
P ₃	1,00	1,00	0,75	0,98	1,00
P ₄	1,00	0,87	0,64	1,00	0,92
P ₅	1,00	1,00	0,73	1,00	0,94
P ₆	0,87	0,73	0,87	1,00	1,00
P ₇	0,88	0,75	1,00	1,00	0,89
P ₈	1,00	0,86	0,55	1,00	1,00
P ₉	0,91	0,57	-	-	-
P ₁₀	0,78	0,79	0,69	1,00	0,98
P ₀	0,81	0,63	0,42	0,70	0,77

3.4 Методика исследований и оборудование опытно-производственных участков

Основной целью опытно-производственных исследований, как уже отмечалось, является изучение процессов функционирования природных систем и методов управления ими. Природные системы характеризуются рядом свойств, основным из которых является открытость. Стабильное состояние природных систем возможно только при условии постоянного обмена веществом и энергией, который включает тепло- и влагообмен с атмосферой, влаго- и солеобмен с поверхностными и подземными

водами. Изменение одного из потоков вещества и энергии неизбежно приводит к нарушению процессов массо- и энергообмена внутри системы и изменению всех остальных свойств системы, таких как:

- *целостность*, то есть направленность и интенсивность взаимодействия отдельных компонентов;

- *функционирование*, то есть характер процессов массо- и энергообмена между компонентами системы и окружающей средой, обеспечивающих стабильность системы;

- *изменение структуры* региональных водных и геохимических потоков;

- *динамика и эволюция*, то есть обратимые и необратимые изменения системы.

В связи с этим, за основной метод исследований принят анализ теплового, водного и солевого балансов опытно-производственных участков с целью установления количественных связей как между отдельными элементами балансов, так и между отдельными компонентами системы.

Балансы составлялись на основе измерения всех элементов с соблюдением правил замыкания и определения невязки. Наряду с анализом балансов, изучалась динамика теплового, водного и солевого режимов с целью оценки закономерностей переноса влаги и солей и эффективности применяемых методов регулирования водно-солевого режима орошаемых земель в разные периоды их освоения.

Схема составляющих водного баланса приведена на рис. 3.17.

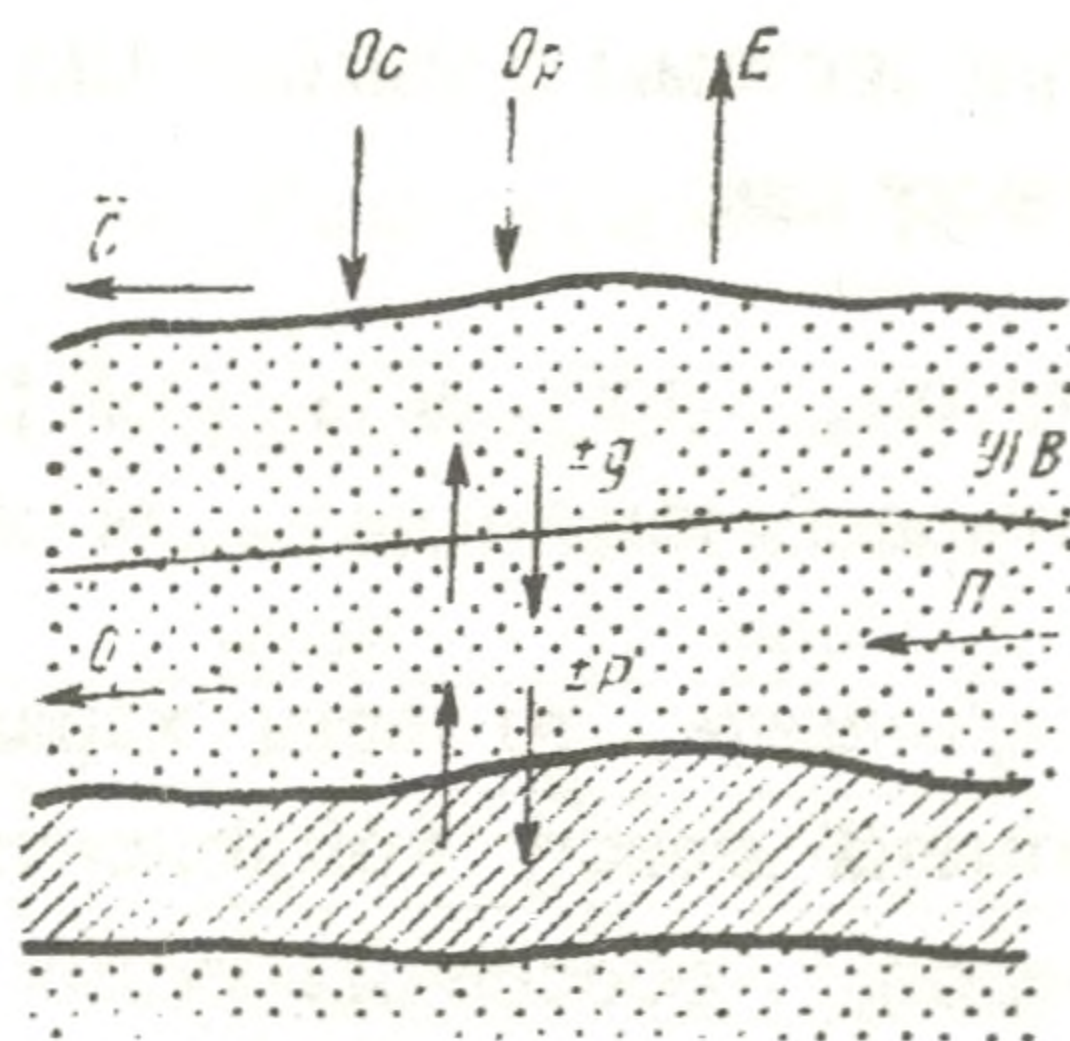


Рис. 3.17. Схема составляющих водного баланса.

Уравнения балансов записываются в следующем виде [1, 2]:

баланс поверхностных вод

$$\Delta W_1 = O_p + O_c - I - \bar{C}_6 - B_n ; \quad (3.2)$$

баланс почвенных вод

$$\Delta W_2 = B_n - T_p \pm g ; \quad (3.3)$$

баланс грунтовых вод

$$\Delta W_3 = \underline{\Pi} - \underline{Q} \pm P \pm g - D_p + \Phi_k ; \quad (3.4)$$

общий водный баланс

$$\Delta W_0 = O_p + O_c - (I + T_p) + (\underline{\Pi} - \underline{Q}) - \bar{C}_6 \pm P - D_p + \Phi_k \quad (3.5)$$

Исходя из схемы формирования водных балансов, запишем уравнения солевых балансов:

$$\Delta G_1 = G_{O_p} - G_{\bar{C}_6} - G_{B_n} \quad (3.6)$$

$$\Delta G_2 = G_{Вп} \pm G_g \quad (3.7)$$

$$\Delta G_3 = G_{\Pi} - G_{\underline{Q}} \pm G_p \mp G_g - G_{Др} + G_{Фк} \quad (3.8)$$

$$\Delta G_0 = G_{Op} + G_{\underline{Q}} - G_{\bar{C}_6} + G_{\Pi} - G_{Др} - G_{Фк}, \quad (3.9)$$

где: $\Delta W_1, \Delta W_2, \Delta W_3, \Delta W_0, \Delta G_1, \Delta G_2, \Delta G_3, \Delta G_0$ - изменение запасов влаги и солей в расчетном слое; O_p и G_{Op} - водоподача и поступление солей с оросительными водами; $I + Tr = E$ - суммарное испарение; \bar{C}_6 и $G_{\bar{C}_6}$ - поверхностные сбросы и вынос солей; V_{Π} и $G_{Вп}$ - впитывание воды в почву и поступление солей; O_c - атмосферные осадки; $\pm g$ и G_g - влаго- и солеобмен между почвенными и грунтовыми водами; \underline{Q} и $G_{(\underline{Q})}$ - подземный приток и отток и разница между притоком и оттоком солей; $\pm P$ и G_p - поступление воды и солей с напорными водами; $Др$ и $G_{Др}$ - дренажный сток и вынос солей с дренажем; $Фк$ и $G_{Фк}$ - фильтрационные потери в оросительной сети и поступление солей. Для условий опытно-производственных участков площадью 100-400 га, расчетный слой для составления балансов - 5 м.

Анализ уравнений 3.2-3.9 показывает, что только составление частных балансов дает возможность наиболее полно проанализировать процессы формирования водного и солевого режимов и оценить влаго- и солеобмен между почвенными и грунтовыми водами, которые характеризуют направленность почвенно-мелиоративных процессов и влияние орошения на окружающую среду. Методика определения отдельных составляющих балансов предусматривает, чтобы ни одна из величин не вносила в конечный результат ошибки, значительно превышающие

ошибку в определении остальных величин. Относительная ошибка измерений составляющих O_p , D_p , Φ_k не превышает 1 % (по показаниям водосливов). Ошибка в определении O_c и P составляет 10 %. Наиболее сложным и трудоемким является измерение суммарного испарения. Обобщение многочисленных экспериментальных и производственных данных по отдельным составляющим водного баланса показывает, что ошибка в определении суммарного испарения не должна превышать 5-7 %. Такая высокая точность оценки суммарного испарения за относительно короткие промежутки времени исключает применение расчетных методов. В связи с этим за основной метод определения суммарного испарения принят метод теплового баланса, являющийся количественной характеристикой теплообмена в системе атмосфера – приземный слой – растение – почва [8, 12].

$$R = B + P_T + LE, \quad (3.10)$$

где: R - радиационный баланс деятельной поверхности, $\text{кДж}/\text{см}^2$; B - теплообмен в почве, $\text{кДж}/\text{см}^2$; P_T - теплообмен с атмосферой, $\text{кДж}/\text{см}^2$; LE - затраты тепла на испарение, $\text{кДж}/\text{см}^2$.

Испарение определяется по данным актинометрических и градиентных наблюдений:

$$LE = \frac{(R - B)\Delta e}{\Delta e + 0,64\Delta t} \quad (3.11)$$

Теплообмен в почве рассчитывается по формуле:

$$B = \frac{C_k}{\tau} S_1 \quad (3.12)$$

Теплообмен с атмосферой рассчитывается по формуле:

$$P\tau = \frac{(R - B)\Delta t}{\Delta t + 1,56\Delta e}, \quad (3.13)$$

где: Δe и Δt – градиенты влажности и температуры воздуха в слое 0,25-2 м; C_k – объемная теплоемкость почвы, кДж/см³/градус; τ – промежуток времени, мин.; S_1 – величина, характеризующая распределение температур почвы в слое 0-20 см за время τ . Рис 3.18, 3.19

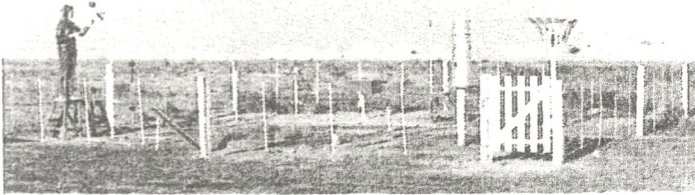


Рис. 3.18 Общий вид актинометрической площадки на опытном участке

Исследования теплового баланса включали измерения радиационного баланса и альbedo, скорости ветра, атмосферных осадков, влажности и температуры воздуха на высоте 0,25; 0,5; 1,0 и 2,0 м; температуры и влажности почвы на глубине 5, 10, 15 и 20 см. Измерения проводились круглосуточно через каждые 3 часа.

Испарение с поверхности почвы и с водной поверхности измерялось также с помощью испарителей ГР-50 и ГГИ-3000.

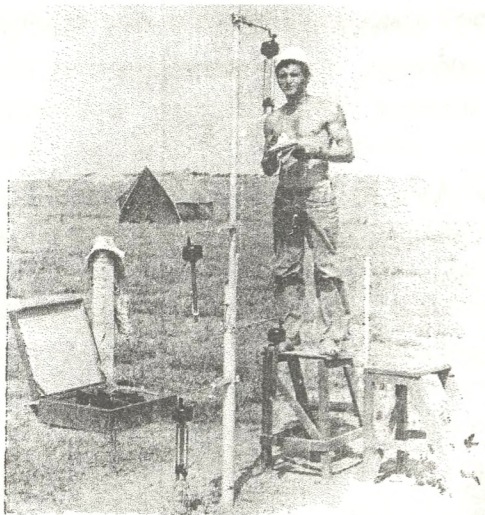


Рис. 3.19 Измерение градиентов влажности в приземном слое воздуха 0-2 м с помощью аспирационных психрометров.

Интенсивность водообмена между грунтовыми и подземными водами P (напорное питание) вычисляли по формуле

$$P = K_v \frac{\Delta H}{z}, \quad (3.14)$$

где: K_n – коэффициент фильтрации в вертикальном направлении в слое z , м/сут; $\Delta H = H_2 - H_1$ – потери напора в слое z между двумя пьезометрами, м; z – расстояние между фильтрами пьезометров, м.

Для определения осредненных фильтрационных характеристик верхней 10-метровой толщи отложений (KT_{cp}) использовали решения С.Ф. Аверьянова для случая равномерного инфильтрационного питания [4]:

$$h(L; \bar{t}) = \frac{\omega L^2}{2KT_{cp}T} (1 - \varphi_1), \quad (3.15)$$

где: φ_1 – функция, зависящая только от относительного времени $\beta_0 = t/\tau$; L – длина потока, $L = B/2$; B – расстояние между дренами, м; t – время от начала промывок, сут; ω – интенсивность инфильтрации, м/сут.

Учитывая, что $\beta_0 = t/\tau = (tKT_{cp})/(L^2 \mu)$, получим:

$$\frac{1 - \varphi_1}{\beta_0} = \frac{\Delta h 2 \mu}{t \omega}, \quad (3.16)$$

где μ – коэффициент водоподачи.

При промывках фильтрационное питание можно принять постоянным во времени $\omega_1 = \omega_2$. Тогда из выражения 3.16 подбором находим β_0 и $KT_{cp} = (L^2 \mu)/(\tau \alpha)$, где α – коэффициент висячести дрен. Для периода спада (сработки) грунтовых вод после прекращения подачи воды на промывку можно использовать решение С.Ф. Аверьянова $h = H_0 \varphi_1$, где H_0 – наибольший подъем грунтовых вод к

концу промывки. Имея по данным наблюдений H_0 при $t = 0$ (конец промывки) и h при $t = t_p$, находим [4]:

$$\varphi_1 = \frac{h}{H_0}, \quad \beta_0 \text{ и } KT_{cp} = \frac{L^2 \mu}{t_1} \beta_0, \quad (3.17)$$

Коэффициенты фильтрации активной толщи отложений в вертикальном направлении определялись послойно, по кустам пьезометров методом налива. Рис.3.20 и 3.21.

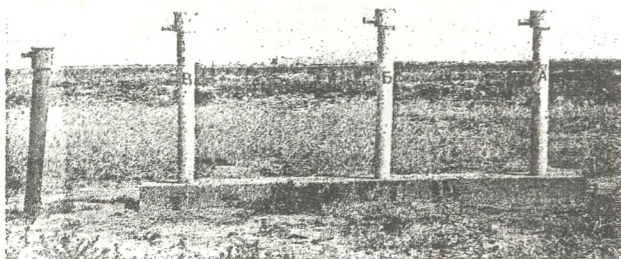


Рис. 3.20 Куст разноглубинных пьезометров

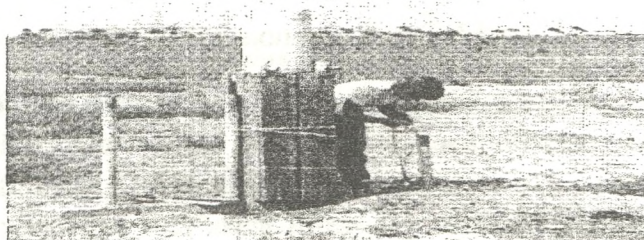


Рис. 3.21 Определение вертикального коэффициента фильтрации в водонасыщенной зоне почвогрунтов методом наливов в пьезометры.

Определение K_B основано на решении задачи притока воды к скважине в условиях напорных вод. При наличии куста пьезометров можно решить обратную задачу – по изменению напора в определенной точке и расхода источника определяется коэффициент фильтрации:

$$K_B = \frac{Q}{4\pi l S n} \ln \frac{(C_2 + C + l)}{(C_2 + 2C + 1,5l)(C_2 + 0,5l)} \quad (3.18)$$

В случае, когда уровень грунтовых вод расположен в районе фильтра пьезометра № 1, то есть $C = 0$, K_B в слое от пьезометра 1 до пьезометров 2, 3 и т.д. определяют по формуле:

$$K_B = \frac{Q}{4\pi l S n} \ln \frac{C_2 + 2,5l}{C_2 + 0,5l}, \quad (3.19)$$

Функция изменения напора на продолжении линейного источника вверх ($z < C$) выражается в виде:

$$S z < C = \frac{Q}{4\pi K_B l} \ln \frac{(C + l - z)(C + l + z)}{(C - z)(C + z)}, \quad (3.20)$$

В этом случае K_B определяют из выражения:

$$K_B = \frac{Q}{4\pi l S n} \ln \frac{C}{(C_2 + 0,5l)(2C - C_2 - 0,5l)}, \quad (3.21)$$

Все приведенные выкладки относятся к любому пьезометру. K_{Σ} определяют путем налива в один из пьезометров постоянного расхода Q и наблюдением за изменением уровня воды во всех остальных пьезометрах. Рис. 3.21 и 3.22.

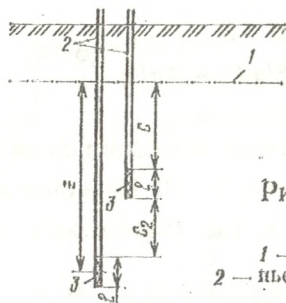


Рис. 3.22 Схема установки пьезометров:

1 — уровень грунтовых вод;
2 — пьезометры; 3 — фильтры пьезометров.

Режим грунтовых и подземных вод и влагообмен между ними оценивали по данным наблюдений в скважинах и пьезометрах, размещение которых увязывали с характером изучаемой экспериментальной функции (кривая депрессии). Глубина скважин и пьезометров 2-20 м. Изменение содержания влаги и солей в почвах, грунтах и грунтовых водах определяли в результате выполнения солевых съемок на начало и конец каждого расчетного периода. Число и размещение скважин солевой съемки зависело от неоднородности почвенного покрова и степени засоления почв и составляло 1-2 скважины на гектар. Образцы на химические анализы отбирали до глубины 3-5 м с интервалом 0,1-0,25 м в слое 1-2 м и 0,5 м в слое 2-5 м. Исследования динамики водного и солевого режимов почв в период промывки, вегетации и т.д. выполняли на

специально выделенных почвенных площадках размером 10x10 м; 20x20 м; 10x40 м. Почвенные площадки размещали с учетом изменчивости изучаемых условий. На опытно-производственных участках при наличии дренажа, где уровень грунтовых вод закономерно изменяется по ширине междуренья, площадки размещали на различных расстояниях от дрен. На участках с глубоким залеганием уровня грунтовых вод площадки размещали, исходя из требований рандомизации и организационных соображений.

Планирование объема (повторности) исследований проводили с учетом вариабильности изучаемых величин и требований к точности их определения. Повторность определения различных параметров устанавливалась на основании изысканий в период оборудования опытно-производственных участков. При требуемой точности определения влажности почв и содержания солей $\leq 10\%$ повторность отбора проб принимали 3-5 кратной. Таблица 3.6.

Таблица 3.6

Ошибка в определении влажности и содержания солей в почвах при различной повторности отбора проб, %

Слой, см	Влажность почвы		Содержание солей	
	n = 5	n = 3	n = 5	n = 3
0-50	3,9	6,1	6,3	8,9
50-100	3,3	4,8	6,6	9,3
100-200	2,2	3,1	-	-
200-300	2,1	3,0	-	-
300-400	1,8	2,5	-	-
400-500	1,9	2,3	-	-

Сроки отбора проб определялись с учетом характера изучаемых процессов (до и после каждого полива, такта промывки, в остальные периоды 1 раз в декаду или месяц).

Процессы солепереноса, динамику ионообменной сорбции в почвах и эффективность промывок засоленных земель изучали также на монолитах ненарушенной структуры. Задача этих исследований заключалась в рассмотрении процессов с целью установления основных закономерностей и определения параметров солепереноса. Размеры монолитов: $d = 0,3-0,7$ м, $l = 0,5-1$ м.

Учитывая особенности работы горизонтального дренажа, его рассоляющее действие в условиях напорного питания оценивалось как $D = D_0 + D_{в}$, где D_0 – питание дренажа за счет инфильтрации промывных (поливных) вод; $D_{в}$ – внутреннее питание дренажа за счет поступления подземных (напорных) вод. Величину $D_{в}$ определяют из выражения [4, 5]:

$$D_{в} = \frac{\pi K \Delta H}{\ln \frac{16z}{\pi(d + \Delta h)}}, \quad (3.22)$$

где: K – коэффициент фильтрации, м/сут; ΔH и Δh – превышение пьезометрического напора в водоносном пласте и уровне грунтовых вод над уровнем воды в дрене, м; z – толщина покровных слабопроницаемых отложений, м; d – ширина дрены по урезу воды, м.

Внутреннее питание дренажа определялось также по гидродинамическим сеткам движения подземных вод,

построенным по данным наблюдений в разноглубинных пьезометрах. Таким образом, эффективность рассоляющего действия горизонтального дренажа должна оцениваться не величиной общего дренажного стока и выноса солей, а только той их частью, которая формируется за счет поступления в дрены инфильтрационных вод. В качестве показателя рассоляющего действия дренажа использовалось отношение [1, 3, 4]:

$$q^* = \frac{q_0 B}{D}, \quad (3.23)$$

где: q^* - объем воды и солей, отводимых дренажем из расчетного слоя; q_0 - интенсивность инфильтрационного питания, м/сут; B - расстояние между дренажами, м.

Водно-физические свойства почв - высота капиллярного поднятия и максимальная молекулярная влагоемкость определялись на основании изучения равновесных эпюр влажности почв и грунтов зоны аэрации.

Рис 3.23

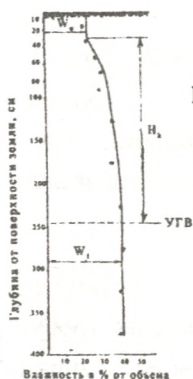


Рис.3.23 Распределение влажности по профилю почвы
Голодная степь, совхоз №5 им.Ю.А.Гагарина

- Фактические запасы влаги
- Без учета влаги связанной гипсом

Содержание солей в почвах определялось по данным анализов водной вытяжки (1: 5), емкость поглощения обменных катионов оценивались с использованием метода Пфелфера.

Оценка разработанных моделей и методов расчета водно-солевого режима орошаемых земель выполнялась по трем основным свойствам: адекватность, общность и точность. Под адекватностью математических моделей понимается степень их соответствия природным процессам и способность описывать направленность и интенсивность изменения этих процессов как в естественных, так и в нарушенных условиях. Общность – это по существу область возможного применения математических моделей. Точность – возможность с достаточной для практики детальностью описывать процессы формирования водно-солевого режима почв. С адекватностью, общностью и точностью моделей связана их разрешающая способность, то есть число практических задач, которые могут быть решены с их помощью.

Разработанные математические модели солепереноса позволяют оценивать направленность изменения почвенно-мелиоративных условий в зависимости от характера воздействия, назначать пределы регулирования водно-солевого режима и разрабатывать методы мелиорации земель в различных природных зонах.

Совершенно очевидно, что выводы в отношении пределов и методов комплексного регулирования требуют обстоятельного подтверждения на основе анализа

результатов исследований и обобщении имеющегося опыта. При оценке адекватности и общности моделей в общем смысле надо понимать проверку не того или иного конкретного положения, а основ, которые это положение или содержат, или отвергают. Дело в том, что теоретические основы влаго- и солепереноса в почвах базируются на фундаментальных законах, каждый из которых проверен практикой. Поэтому далеко не каждое положение математических моделей нуждается в конкретной экспериментальной проверке. Достаточно установить соответствие основных выводов, полученных с использованием разработанных математических моделей, известным законам природы. Это соответствие и будет являться критерием адекватности и общности моделей.

Оценку точности моделей производили по материалам солевых съемок опытно-производственных участков до и после промывок и вегетационных поливов. Определение гидрохимических параметров, которые входят в уравнения, описывающие процессы переноса солей в почвах, является одной из важнейших задач экспериментальных исследований.

К числу основных гидрохимических параметров, характеризующих фильтрационную и физико-химическую гетерогенность почв, относятся: коэффициент конвективной диффузии $D^* = D_m + \lambda V^f$; коэффициент гидродинамической дисперсии – λ ; параметры, характеризующие динамику ионообменной сорбции (коэффициенты изотерм ионообменной сорбции – K). Параметр λ определялся для несорбирующихся ионов хлора, для которых любая почва

является пористой средой, гетерогенной только в фильтрационном отношении. Параметры изотерм ионообменной сорбции определялись для различных пар ионов Na – Ca и Na – Mg и величин ППК [13, 19, 20].

Учитывая необходимость опытно-производственной проверки точности разработанных математических моделей, гидрохимические параметры определяли независимыми методами. В полевых условиях гидрохимические параметры определялись по результатам промывок опытных чеков и делянок с подачей промывной воды отдельными тактами нормой 1-3 тыс. м³/га, отбором и анализом образцов почвы по горизонтам до и после каждого такта. В этом случае получается большой объем информации о перераспределении солей по профилю, но малый во времени. При такой методике оценки динамики солей в почве параметры переноса находятся решением обратных задач при известных времени и норме промывки, скорости фильтрации, минерализации промывных вод, начальном и конечном распределении солей по профилю почвы. В лабораторных опытах гидрохимические параметры определялись в динамических условиях на монолитах. В опытах использовалась промывная вода различной минерализации. Фиксировался объем водоподачи, скорость фильтрации, водно-физические и физико-химические свойства почвы, исходное и конечное содержание солей в почвенном растворе и ППК, а также данные выходных кривых $C = f(t)$.

В результате массовых определений гидрохимических параметров устанавливалась зависимость

коэффициентов гидродинамической дисперсии от минерализации промывной воды и механического состава почв, а также зависимость коэффициентов изотерм ионообменной сорбции от ионной силы почвенных растворов и величины ППК.

Засоленные почвы опытно-производственных участков в пустынной зоне промывались в различное время года на фоне постоянного закрытого и мелкого временного дренажа. Промывки проводились начиная с середины междрений. Промывная норма объемом от 2 до 24 тыс. м³/га подавалась отдельными тактами нормой 1-3 тыс. м³/га, перерывы между тактами составляли 1-1,5 месяца в зависимости от организационно-хозяйственных условий. При промывке пухлых солончаков Канибадамского участка промывная вода первого такта после растворения солей пухлякового слоя сбрасывалась непосредственно в открытые дрены и отводилась за пределы участка. Временный мелкий дренаж устраивался только на период промывок. Глубина временного дренажа – 0,6-1 м, расстояния между дренами 10-50 м. Водоподача в период промывок фиксировалась круглые сутки с интервалом 3-4 часа.

Для проведения балансовых, режимных, актинометрических и градиентных наблюдений опытно-производственные участки были оборудованы:

- водосливами для измерения водоподачи и водоотведения;

- наблюдательными скважинами глубиной 3-5 м для наблюдений за динамикой и минерализацией грунтовых вод;

- кустами пьезометров (5 скважин глубиной от 2 до 20 м) для наблюдений за динамикой напорного питания и построения гидродинамических сеток движения подземных вод;

- актинометрическими площадками для измерения составляющих теплового баланса. Площадки были оборудованы балансомерами, альбедометрами, термометрами Саввинова, аспирационными психрометрами, дождемерами, флюгерами и почвенными испарителями;

- почвенными площадками для изучения процессов влаго- и солепереноса.

Схема размещения оборудования на опытно-производственных участках приведена на рис. 3.4; 3.9; 3.11; 3.13 и 3.15.

Список использованной литературы к главе 3

1. Аверьянов С.Ф. Горизонтальный дренаж при борьбе с засолением орошаемых земель. М, АН СССР, 1959.
2. Аверьянов С.Ф. Некоторые вопросы предупреждения засоления орошаемых земель и меры борьбы с ним в Европейской части СССР. М, Колос, 1965.
3. Аверьянов С.Ф. О расчете осушительного действия горизонтального дренажа в условиях напорного питания. М, Научные записки МИИВХ, т. XXII, 1960.
4. Аверьянов С.Ф. Фильтрация из каналов и ее влияние на режим грунтовых вод. В кн. «Влияние оросительных систем на режим грунтовых вод». М, АН СССР, 1956.
5. Аверьянов С.Ф. Некоторые вопросы подземного питания равнинных рек. Тр. III Гидрологического съезда. Л, Гидрометеиздат, 1959, т. 9.
6. Аверьянов С.Ф., Дзя-Да-Лин К теории промывки засоленных почв. М, Доклады ТСХА, 1960, вып. 56.
7. Аверьянов С.Ф., Цюй Син-е Расчет дренажа при наличии инфильтрации. М, Изв. АН СССР, ОТН, 1957, № 3.

8. Алпатыев С.М. Биоклиматический метод обоснования водного баланса растений и его использование в земледелии. В кн. «Водный режим растений в засушливых районах СССР». М, АН СССР, 1961.
9. Антипов-Каратаев И.Н., Филиппова В.Н. Влияние длительного орошения на почвы. М, АН СССР, 1955
10. Базилевич Н.И., Панкова Е.И. Опыт классификации почв по засолению. Почвоведение, № 11, 1968.
11. Баскаченко И.Н. Использование природных минерализованных вод в сельском хозяйстве. М, Колос, 1975.
12. Будыко М.И. Тепловой баланс земной поверхности. Л, Гидрометеиздат, 1956.
13. Веригин Н.Н. Некоторые вопросы химической гидродинамики, представляющие интерес для мелиорации и гидротехники. М, Изв. АН СССР, ОТН, 1953, № 10.
14. Волобуев В.Р. Расчет промывки засоленных почв. М, Колос, 1974.
15. Гедройц К.К. Избранные труды. М, Наука, 1975.

16. Исследование водного и солевого режимов искусственного лиманного орошения на Кисловской оросительной системе. М, НИС МГМИ, 1973. Рукопись.
17. Исследование действия горизонтального дренажа на опытном участке Канибадамского массива. М, НИС МГМИ, 1965. Рукопись.
18. Ковда В.А. Почвы Прикаспийской низменности (северо-западной части). М, АН СССР, 1950.
19. Корольков А.И. Водно-солевой режим орошаемых земель Приморской оросительной системы. М, Вестник сельскохозяйственной науки, 1973, № 12.
20. Корольков А.И., Королькова Т.П. Использование вод повышенной минерализации в целях орошения предкавказских черноземов. Тр. МГМИ, М, 1974, том XXXVI.
21. Королькова Т.П. Рекс Л.М. Определение запасов солей и эпюры исходного засоления почвогрунтового слоя. Почвоведение, № 2, 1971.
22. Костяков А.Н. Основы мелиораций. М, Сельхозгиз, 1951
23. Морозов А.Т. Закономерности передвижения растворов в почвах и грунтовых водах. Тр. VII сессии АН ТуркССР, Ашхабад, 1956.

24. Налимов В.В. Теория эксперимента. М, Наука, 1971.
25. Никольский Б.П. Обменная адсорбция катионов в почвах. Почвоведение, 1934, № 2.
26. Разработка методов расчета дренажа и промывок засоленных земель Голодной степи на основе полевых производственных исследований. М, НИС МГМИ, 1969. Рукопись.
27. Шабанов В.В., Рудаченко Е.П. Типизация объектов сельскохозяйственных мелиораций. Вестник сельскохозяйственной науки, 1971, № 1.
28. Шенк Х. Теория инженерного эксперимента. М, Мир, 1972.

Глава 4

Результаты опытно-производственных исследований в пустынной зоне

При оценке эффективности дренажа и промывок необходимо, прежде всего, четко определить их назначение при орошении и освоении засоленных или подверженных засолению земель. Первоначально основным качеством дренажа орошаемых земель считалась его способность обеспечивать поддержание уровня грунтовых вод на глубине $\geq H_{кр}$ [12, 15, 16, 23]. Однако исследования допромывного периода на Канибадамском и Голодностепском опытных участках, а также обобщение имеющихся данных, показали, что строительство дренажа и понижение уровня грунтовых вод до $H_{кр}$ не предотвращают процессов соленакопления в почвах. Дренаж является необходимым, но совершенно недостаточным условием регулирования водно-солевого режима засоленных или подверженных засолению орошаемых земель [6].

Основываясь на результатах теоретических разработок, академик С.Ф. Аверьянов сформулировал основные требования к дренажу орошаемых земель [4]. В освоении засоленных или подверженных засолению орошаемых земель он четко различал два периода:

– первоначальный (продолжительностью 1-3 года), целью которого - является опреснение 1-2 метрового слоя почвы до пределов,

соответствующих требованиям роста и развития сельскохозяйственных растений;

- эксплуатационный, в течение которого за счет создания промывного режима орошения поддерживается требуемый водно-солевой режим, исключающий опасность вторичного засоления.

Эти идеи были использованы в постановлении Всесоюзной конференции в Ташкенте в 1964 г [24]. В постановлении отмечалось:

- борьба с засолением орошаемых земель включает систему мероприятий, в которой главное место отводится промывкам засоленных земель на основе дренажа. Основное назначение дренажа – обеспечение условий для устойчивого опреснения засоленных земель путем промывок и последующего поддержания водного режима, гарантирующего от реставрации засоления;

- важнейшим условием предупреждения реставрации засоления орошаемых земель при неглубоком залегании грунтовых вод, является создание такого положения, при котором нисходящие токи воды суммарно преобладали бы над восходящими токами минерализованных грунтовых вод при отводе излишних вод дренажем.

Исходя из этих общих положений, рекомендовалось: ... «режим орошения в условиях

засоления строить на основе преобладания нисходящих водных токов над восходящими токами грунтовых вод, в связи с чем, должны определяться нормы влагозарядковых и вегетационных поливов. Нормы вегетационных поливов на опресненных ранее засоленных землях, при возможности реставрации засоления, должны устанавливаться не из расчета насыщения почв до полевой влагоемкости, а из расчета некоторого превышения водоудерживающей способности почв (в пределах 10-30 %). В таких случаях общие оросительные нормы должны превышать расход воды на транспирацию и испарение при обязательном оттоке излишних вод». Основными типами постоянного дренажа определялись закрытый горизонтальный дренаж глубиной 2,5-3,5 м, а также вертикальный дренаж [24].

Рекомендации Всесоюзной конференции исходили из неизбежности подъема уровня грунтовых вод и возможности их опреснения. Осуществление намеченных мероприятий привело к тому, что практически на всех орошаемых массивах (за исключением хорошо дренированных) естественный автоморфный режим сменился гидроморфным. По существу, это была попытка создания оросительных систем с замкнутым водооборотом по образу и подобию систем древнего орошения. Поэтому, в соответствии с действующими нормативно-методическими документами того времени коэффициент использования

воды предлагалось рассчитывать с учетом повторного использования возвратных (дренажных) вод.

$$КИВ = \frac{O_P^H}{O_P^B}, \quad (4.1)$$

где: КИВ – коэффициент использования воды; O_P^H - оросительные нормы нетто и брутто; O_P^B – возвратные (дренажные) воды.

Из выражения (4.1) следовало, что чем больше возвратных вод будет повторно использоваться для полива, тем выше КИВ.

Постановление конференции определило пути дальнейшего развития орошения земель Средней Азии, главным образом за счет освоения новых земель. Переустройство существующих оросительных систем, по мнению Минводхоза СССР, было малоэффективно и посему ограничивалось в основном строительством дренажа. Полагая, что применение промывок, промывного режима орошения и дренажа позволяет предотвратить развитие процессов вторичного засоления, в мелиоративный фонд включались как опасные с точки зрения засоления, так и засоленные земли. Эти предположения основывались на данных солевых балансов, в расходной части которых учитывался общий отвод солей дренажем. Необоснованность таких расчетов солевого баланса иллюстрируется данными таблицы 4.1.

Таблица 4.1

Солевые балансы зоны аэрации орошаемых земель

Массив орошения	G_1 , т/га	G_2 , т/га	$G_1 + G_2$, т/га	D , т/га	ΔG , т/га	Изменение площадей засоленных земель, %
Голодная степь (старая зона)	18,0	0,2	18,2	22,0	- 3,8	1985 - + 17 1990 - + 29
Голодная степь (новая зона)	19,2	0,2	19,4	29,3	- 9,9	1970 - + 26 1990 - + 54
Хорезмский оазис	19,8	0,3	20,1	16,9	+ 3,2	1970 - + 22 1990 - + 44
Каракалпакия	21,0	0,4	21,4	24,4	- 3,0	1970 - + 39 1990 - + 58
Ташаузский оазис	21,2	0,4	21,6	23,7	- 2,1	1970 - + 40 1990 - + 60
Ферганская долина	15,2	0,1	15,3	18,0	- 2,7	1985 - + 22 1990 - + 53
Каршинская степь	14,8	0,1	14,9	21,0	- 6,1	1980 - + 10 1990 - + 21
Вахшская долина	7,5	0,1	7,6	19,0	- 11,4	1985 - + 18 1990 - + 15
Чуйская долина	2,6	0,1	2,7	8,5	- 5,8	1985 - + 14 1990 - + 12
Бухарский оазис	1,9	0,1	2,0	3,1	- 1,1	1970 - + 26 1990 - + 30

Примечание: G_1 и G_2 – поступление солей с оросительной водой и атмосферными осадками; D – вынос солей дренажем.

У почвоведов и гидрогеологов прочно укоренилось ошибочное мнение, что описание существующих до орошения условий без составления прогнозов их изменения является вполне достаточным

для обоснования проектов. Поэтому часто создавали представление о мнимом благополучии земель, что приводило к серьезным ошибкам. Действующие нормативно-методические документы, определяющие состав, объем и детальность почвенных и гидрогеологических изысканий, не перерабатывались в течение многих лет [4].

Такой подход к широкому развитию орошения земель в Средней Азии противоречил основным результатам теоретических разработок в области регулирования водного и солевого режимов земель. Потребовалась опытно-производственная проверка фундаментальных теоретических положений, в том числе: вопросов влаго- и солепереноса в почвах, рассоляющего действия дренажа и промывок в различные периоды освоения засоленных земель.

Исследования процессов формирования водно-солевого режима земель, эффективности дренажа и промывок охватывали допромывной период, промывки первого и второго годов, межпромывные и послепромывные периоды.

4.1 Исследования допромывного периода

Исследования включали анализ процессов формирования водного и солевого балансов опытно-производственных участков и влияние горизонтального дренажа на почвенно-мелиоративные процессы. На Канибадамском участке водный и солевой балансы

изучались в естественных условиях и после строительства дренажа. На Голодностепском участке исследования водного и солевого балансов проводились на фоне действующего горизонтального дренажа [13, 26]. Результаты исследований, в обобщенном виде, приведены в таблицах 4.2 и 4.3.

Таблица 4.2.

Водный и солевой балансы опытных участков

Период	Элементы балансов, мм, т/га					q*	G _p /G _д	Δh, м
	O _p	O _c	P	E	Д			
Канибадамский участок (естественные условия)								
Поле 1 1962- 1963 г	-	$\frac{197}{0}$	$\frac{205}{23,6}$	$\frac{360}{0}$	-	-	-	0
Поле 2 1962- 1963 г	-	$\frac{197}{0}$	$\frac{210}{24,2}$	$\frac{360}{0}$	-	-	-	0
Поле 3 1962- 1963 г	-	$\frac{197}{0}$	$\frac{230}{26,4}$	$\frac{360}{0}$	-	-	-	0
Канибадамский участок (после строительства дренажа)								
Поле 1 1962- 1963 г	-	$\frac{197}{0}$	$\frac{237}{27}$	$\frac{290}{0}$	$\frac{180}{21,5}$	-	1	-0,2
Поле 2 1962- 1963 г	-	$\frac{197}{0}$	$\frac{375}{43}$	$\frac{290}{0}$	$\frac{370}{49}$	-	1	-0,8
Поле 3 1962- 1963 г	-	$\frac{197}{0}$	$\frac{380}{44}$	$\frac{280}{0}$	$\frac{373}{27}$	-	1	-1,5
Канибадамский участок (допромывной период)								
Поле 1 1963- 1964 г	-	$\frac{197}{0}$	$\frac{237}{27}$	$\frac{290}{0}$	$\frac{154}{22}$	-	1	0

Поле 2 1963- 1965 г	-	$\frac{260}{0}$	$\frac{454}{52}$	$\frac{486}{0}$	$\frac{247}{49}$	-	1	0
Поле 3 1963- 1964 г	-	$\frac{211}{0}$	$\frac{376}{43}$	$\frac{389}{0}$	$\frac{172}{28}$	-	1	-0,2
Голодностепский участок (допромывной период)								
1964- 1965 г	$\frac{21}{1}$	$\frac{256}{0}$	$\frac{154}{15}$	$\frac{336}{0}$	$\frac{36}{14}$	0,6	1	+ 0,1

Таблица 4.3

Изменение содержания солей в зоне аэрации и
грунтовых водах до и после строительства дренажа на
Канибадамском участке

Показатели	Поле 1		Поле 2		Поле 3	
	до	после	до	после	до	после
g, мм	163	119	163	93	163	83
P, мм	205	215	210	375	230	356
C _r , г/л	38,0	33,4	41,0	31,4	34,0	22,8
Запас солей в зоне аэрации, %	2,72	2,72	2,24	2,24	1,50	1,50
Вывос солей дренажем, т/га	-	21,5	-	49	-	27
Запасы солей в грунтовых водах, т/га	141	119,5	143,5	94,8	112,2	84,8
	-	116,9	-	85,7	-	73,4

Примечание: в числителе – расчетные, в знаменателе – фактические данные.

Приведенные данные показывают, что принятая методика исследований обеспечивает получение водного и солевого балансов с достаточной точностью ($\leq 15\%$). Основными статьями водного баланса в допромывной период являются напорное питание и суммарное испарение, дренажный сток и атмосферные осадки играют второстепенную роль. Такое соотношение элементов водного баланса обуславливает интенсивное накопление солей в расчетном слое. Изучение динамики водного и солевого режимов почв подтверждает тесную их связь; изменение влагообмена между почвенными и грунтовыми водами сопровождается изменением распределения и запасов солей в расчетном слое. Анализ полученных данных в допромывной период подтвердил, что дренаж является необходимым, но не достаточным условием регулирования водно-солевого режима орошаемых земель. Дренаж работает только на отвод подземных вод, поэтому устройство дренажа только снизило интенсивность, но не ликвидировало процессы накопления солей в почвах. Для изменения солевого баланса территорий и обеспечения прогрессивного рассоления почв, грунтов и грунтовых вод необходимо создание промывного режима орошения. Из полученных данных вытекает еще один важный вывод – общий вынос солей дренажем не является показателем его рассоляющего действия. Оценку рассоляющего действия горизонтального дренажа необходимо производить на основе раздельного учета составляющих дренажного стока. Исследования допромывного

периода позволили оценить влияние дренажа как мелиоративного мероприятия на изменение водно-солевого режима земель. Полученные данные дают основание сделать следующие основные выводы:

- дренаж, оказывая непосредственное влияние на режим грунтовых вод, приводит к изменению соотношения отдельных составляющих их баланса. Изменения эти обуславливаются сработкой запасов минерализованных грунтовых вод, интенсивностью водообмена между грунтовыми, почвенными и подземными водами. Очевидно, что отвод подземных вод и солей следует рассматривать как отрицательное свойство дренажа, способствующее вовлечению в активный геохимический круговорот больших объемов солей, ранее захороненных в толще подстилающих отложений;

- уменьшение водообмена между почвенными и грунтовыми водами для пустынной зоны, наряду с уменьшением минерализации грунтовых вод, приводит с одной стороны, к уменьшению поступления солей в почвенный слой, с другой – к выравниванию содержания солей по профилю почвы.

Обобщение имеющихся данных подтверждает этот вывод. С уменьшением влагообмена между грунтовыми и почвенными водами распределение солей по профилю почвы выравнивается и при $g = 0$ становится равномерным [4, 12, 15, 20, 21, 27]; Рис.4.1

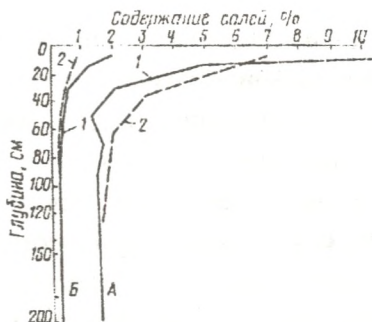


Рис. 4.1 Изменение содержания солей в почвах после строительства дренажа:

А — плотный остаток; Б — Cl; 1 — исходное; 2 — после строительства дренажа.

- активное воздействие на солевой режим почв и грунтов зоны аэрации возможно на фоне дренажа при условии создания промывного режима;

- рассоляющее действие горизонтального дренажа целесообразно оценивать по отношению G_p/G_d .

4.2. Промывки засоленных земель

Промывки земель опытных участков проводились в летнее, осеннее и зимнее время. Величины промывных норм нетто были предварительно определены с учетом степени и типа засоления почв. Для Канибадамского участка промывная норма составила 20 000 м³/га, а для Голодностепского — 10 000 м³/га [10, 19]. Промывная вода подавалась отдельными тактами нормой 1-3 тыс. м³/га, начиная с центра междренений. Продолжительность затопления

чеков – 10-20 дней, перерывы между отдельными тактами по организационно-хозяйственным условиям (наличие воды) достигали 1-1,5 месяца. На Канибадамском массиве, в связи с наличием пухлякового слоя на поверхности почвы промывки первого года предусматривали поверхностные сбросы. Цель поверхностных сбросов – удаление солей с поверхности почвы. На Голодностепском участке, где поверхностное засоление отсутствовало, промывки проводились на фоне постоянного и временного дренажа. Исследовались два варианта техники промывок: постоянное затопление центральной части междренья с посевом риса и подача промывной воды отдельными тактами на остальной части междренений; подача воды отдельными тактами, начиная с центра междренений [13, 25]. Параметры постоянного и временного дренажа, в период промывок, приведены в таблице 4.4.

Таблица 4.4

Параметры постоянного и временного дренажа

Период	Поле	Дренаж			
		Постоянный		Временный	
		H, м	B, м	h, м	b, м
Канибадамский участок					
1-ый год					
05.1964- 03.1965	1	3-3,5	400	-	-
04,1965- 03.1966	2	3-3,5	200	-	-

01.1965- 11.1965	3	3-3,5	300	-	-
2-ой год					
05.1966- 12.1966	1	3-3,5	400	0,8	15-40
09.1966- 12.1966	3	3-3,5	200	0,8-1	50
03.1967- 04.1967	3	3-3,5	300	0,8-1	50
Голодностепский участок					
1-ый год					
06.1965- 10.1965		3-3,5	150-200	0,6-0,8	30-35
2-ой год					
12.1967- 07.1968		3-3,5	150-200	0,8-1	35-40

Основные задачи исследований в период промывок включали изучение:

- эффективности использования воды при промывках;
- эффективности рассоляющего действия поверхностных сбросов при промывке пухлых солончаков;
- рассоления почв и грунтовых вод;
- эффективности рассоляющего действия постоянного горизонтального и мелкого временного дренажа.

Результаты выполненных исследований показали, что принятая методика обеспечила получение надёжных результатов и составление водного и

солевого балансов с достаточной точностью (10-20 %).
В таблице 4.5 приведены данные общих водных и
солевых балансов при промывках.

Таблица 4.5

Водный и солевой балансы опытных участков в период
промывок

Период	Пол	Приходные статьи			Расходные статьи				Р/Д	G _р / G _д
		O _р	O _с	P	E	D _п	D _в	-		
Канибадамский участок (водный баланс), мм										
1-й год	1	1373	34	112	657	334	-	160	0,34	-
	2	1512	178	20	652	451	-	310	0,05	-
	3	1811	40	229	704	477	-	217	0,48	-
2-й год	1	2412	153	87	725	460	296	749	0,19	-
	2	1953	230	33	620	593	324	294	0,06	-
	3	179	127	38	105	27	-	-	1	-
Голодностепский участок (водный баланс), мм										
1-й год		1209	137	301	388	560	268	71	0,54	-
2-й год		895	282	297	478	526	50	125	0,56	-
Канибадамский участок (солевой баланс), т/га										
1-й год	1	4,81	-	9,27	-	64,81	-	37,71	-	0,14
	2	6,38	-	2,2	-	121,34	-	22,8	-	0,02
	3	6,33	-	31,03	-	127,36	-	2,79	-	0,24
2-й год	1	8,43	-	9,9	-	85,52	44,29	29,85	-	0,12
	2	7,75	-	6,4	-	121,1	61,75	28,75	-	0,05
	3	0,63	-	4,4	-	4,49	-	-	-	1
Голодностепский участок (солевой баланс), т/га										
1-й год		13,91	-	40,59	-	113,4	18,31	4,83	-	0,36
2-й год		10,83	-	39,74	-	87,2	7,9	8,4	-	0,46

Характерной особенностью водного и солевого балансов промываемых земель является наличие напорного питания и поступления солей с подземными водами, значительно снижающими эффективность промывок. Поступление подземных вод в период промывок хотя и уменьшается по сравнению с допромывным периодом, однако играет существенную роль в приходной части балансов (до 12 % в водном и до 90 % в солевом балансе). Соответственно постоянный дренаж в этот период отводит не только промывные, но и подземные воды. Доля подземных вод и солей в общем дренажном стоке зависит от интенсивности инфильтрационного питания и параметров дренажа и достигает 56 и 46 % соответственно. Аналогичные данные приведены в работах [8, 11, 22].

Соотношение составляющих расходной части балансов определяется в основном интенсивностью постоянного дренажа.

Непроизводительные потери промывных вод включают испарение и поверхностные сбросы. При оценке эффективности использования промывных вод на Канибадамском участке поверхностные сбросы при промывках первого года не учитывались как непроизводительные потери. В рассматриваемых условиях значительная часть промывных вод теряется на испарение с водной поверхности и с поверхности

переувлажненной почвы. Относительная величина испарения зависит от интенсивности водоподачи, сроков проведения промывок и условий отвода промывных вод. Рис. 4.2

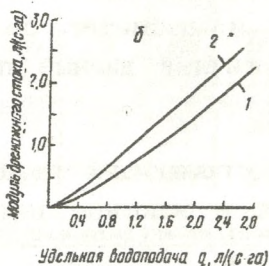
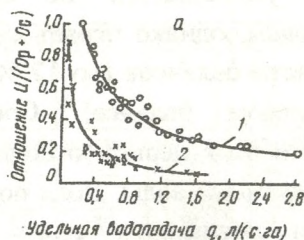


Рис. 4.2 Зависимость испарения промывных вод и дренажного стока от интенсивности водоподачи:
 а — испарение; б — дренажный сток; 1 — летние промывки; 2 — зимние промывки.

Полученные данные показывают, что с точки зрения рационального использования водных ресурсов

наиболее эффективны зимние промывки. В этом случае интенсивность водоподачи (0,8-1 л/с га) соответствует пропускной способности оросительной сети. Температура воды и почвы не играет существенной роли при промывках засоленных земель хлоридного и хлоридно-сульфатного типов засоления.

Минерализация сбросных вод на Канибадамском участке меняется по хлору от 20 г/л в начале промывки до 1-2 г/л в конце. За время промывки из пухлякового слоя сбросными водами отведено от 3 до 38 т/га солей.

Промывки земель на Канибадамском участке нормами от 2 до 12,6 тыс. м³/га снизили содержание ионов хлора в метровом слое почвы в 1,5-6 раз по сравнению с исходным (см. таблицу 4.6)

Промывки земель Голодностепского участка с постоянным затоплением центральной части междурья при промывной норме от 4 до 15,7 тыс. м³/га снизили содержание хлора в метровом слое почвы до допустимых пределов (более, чем в 4 раза по сравнению с исходным). В слое 0-350 см содержание солей снизилось с 0,81 до 0,46 % по плотному остатку и с 0,059 до 0,029 % по хлору. Таблица 4.6.

Таблица 4.6

Содержание ионов хлора в почве до и после промывок первого и второго годов

Период	Поле	Содержание ионов хлора по слоям, %					
		0-20	20-40	40-60	60-80	80-100	100-200
Канибадамский участок							
1-ый год	1	1,353*	0,416	0,294	0,248	0,250	0,222
		0,229	0,208	0,240	0,201	0,220	0,202
	2	1,148	0,437	0,273	0,290	0,323	0,202
		0,222	0,147	0,157	0,190	0,188	0,198
	3	0,570	0,265	0,181	0,200	0,188	0,183
		0,030	0,046	0,089	0,091	0,096	0,116
2-ой год	1	0,585	0,446	0,351	0,289	0,260	0,277
		0,031	0,049	0,075	0,107	0,143	0,209
	2	0,222	0,166	0,152	0,162	0,174	0,198
		0,012	0,018	0,026	0,038	0,052	0,104
	3	0,166	0,109	0,089	0,098	0,109	0,122
		0,045	0,079	0,101	0,105	0,105	0,120
Голдностепский участок							
1-ый год		0,047	0,050	0,052	0,056	0,064	0,079
		0,008	0,015	0,012	0,016	0,023	0,045
2-ой год		0,033	0,042	0,056	0,06	0,066	0,066
		0,006	0,009	0,012	0,016	0,023	0,035

*в числителе – расчетные, в знаменателе – фактические данные.

Промывки земель отдельными тактами без затопления и увеличения промывных норм в центре междуренья оказались менее эффективными [6, 13, 25].

Таким образом, наиболее эффективными являются промывки засоленных земель с дифференцированной подачей промывных вод по

ширине междренья. Соотношение величин промывных норм в центре и на периферии междренья зависит от гидрогеологических условий и параметров дренажа и должно составлять 1,5:1–3:1. При этом, эффективность таких промывок связана не с посевами риса, а с увеличением промывных норм в центре междренья. Обобщение многочисленных данных по эффективности летних промывок с посевами риса по всей ширине междренья выявили их слабую эффективность. Основными причинами этого являлись:

- большой объем водоподачи, обусловленный не требованиями рассоления почв, а биологическими особенностями культуры риса. Водоподача в 3-4 раза выше, чем величина требуемой промывной нормы;

- неравномерность рассоления почв по ширине междренья, связанная со скоростью отвода промывных вод дренажем. Промывная норма в центре междренья значительно меньше, чем около дрен;

- необходимость утилизации огромных объемов сбросных вод, загрязненных биогенами и пестицидами.

Динамика уровней и минерализации грунтовых вод, модули и минерализация дренажного стока и вынос солей дренажем приведены на рисунках 4.3 и 4.4.

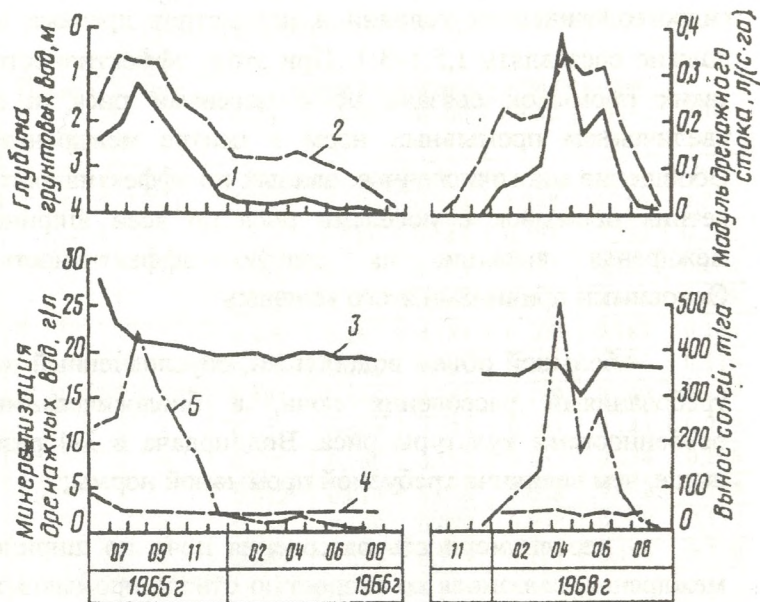


Рис. 4.3 Эффективность работы горизонтального дренажа на опытно-производственном участке в Голодной степи:

1 — модуль дренажного стока; 2 — глубина грунтовых вод; 3 — минерализация дренажных вод; 4 — содержание хлора в дренажных водах; 5 — вынос солей дренажем.

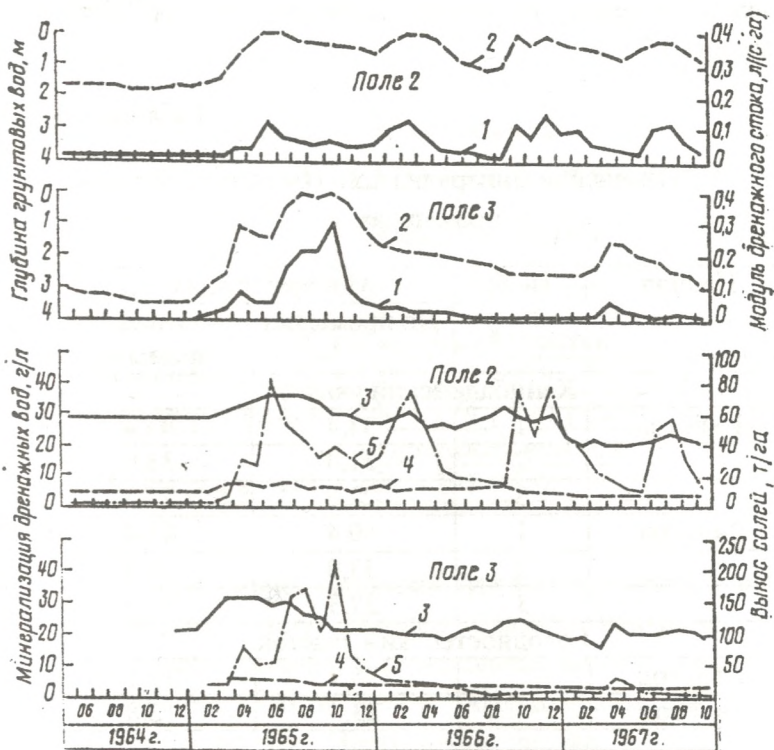


Рис. 4.4 Эффективность работы горизонтального дренажа на Канибадамском опытно-производственном участке:

1 — модуль дренажного стока; 2 — глубина грунтовых вод; 3 — минерализация дренажных вод; 4 — содержание хлора в дренажных водах; 5 — вынос солей дренажем.

Как видно из рисунков, опреснение грунтовых вод в период промывок незначительно. Это дает основание говорить, что опреснение грунтовых вод не должно входить в задачу капитальных промывок.
Таблица 4.7

Таблица 4.7

Изменение минерализации грунтовых вод при промывках.

Период	Поле	Минерализация, г/л	
		До промывки	После промывки
Канибадамский участок			
1-ый год	1	33,4	47,4
	2	31,4	33,0
	3	22,8	27,3
2-ой год	1	40,4	41,4
	2	33,0	20,9
	3	27,3	32,9
Голодностепский участок			
1-ый год		26,7	23,3
2-ой год		23,4	12,8

4.3 Межпромывной и послепромывной периоды

Исследования межпромывного и послепромывного периодов представляют интерес с точки зрения устойчивости опреснения, достигнутого в период промывок. С прекращением промывок

изменяется соотношение элементов водного и солевого балансов. Общая направленность изменения элементов водного баланса характеризуется восстановлением соотношения между ними. Таблица 4.8.

Таблица 4.8

Водный баланс опытных участков в межпромывной и послепромывной периоды

Период	Элементы баланса, мм				Р/Д	G _p /G _d
	O _c	P	E	Д		
Канибадамский участок						
Межпромывной	107	259	318	157	1	0,96
Послепромывной	100	174	240	121	1	0,91
Голодностепский участок						
Межпромывной	101	107	152	100	1	0,97

По мере снижения уровня грунтовых вод в приходной части водного баланса возрастает роль напорного питания, а в расходной части – суммарного испарения, что в целом обуславливает накопление солей в почвах. Постоянный дренаж в этот период отводит соли из глубоких горизонтов [13, 25]. Рис. 4.5

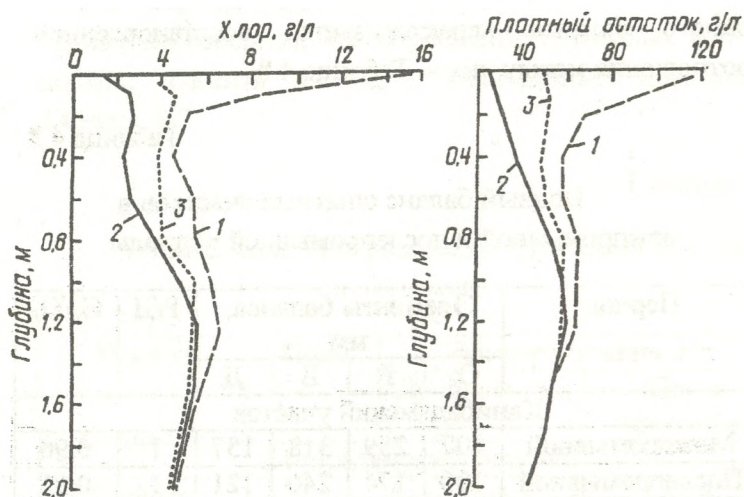


Рис.4.5 Содержание солей в почвах Канибадамского опытно-производственного участка:

1 — исходное; 2 — после промывки первого года; 3 — перед промывками второго года.

Эти общие закономерности формирования водно-солевого режима земель говорят о неустойчивости достигнутого опреснения почв. Постоянный дренаж и промывки являются необходимым, но недостаточным условием устойчивого улучшения мелиоративного состояния засоленных земель. Поддержание и дальнейшее усиление достигнутого в период промывок рассоления почв возможно только при создании промывного режима орошения.

4.4 Исследование эффективности горизонтального дренажа

При оценке эффективности горизонтального (постоянного и временного) дренажа орошаемых земель основное внимание обычно уделяют анализу режима, реже баланса грунтовых вод, что не позволяет вскрыть основные закономерности и объективно оценить роль дренажа в формировании водно-солевого режима орошаемых земель. Основным назначением дренажа как составной части мелиоративной системы является регулирование баланса грунтовых вод с целью создания благоприятного водного и, связанного с ним, солевого режима почв [1, 2, 3, 18]. В связи с этим, при оценке эффективности дренажа необходимо рассматривать его воздействие не только на режим и баланс грунтовых вод, но, главным образом, на процессы влаго- и солепереноса в почвах и грунтах, характеризующие мелиоративное состояние орошаемых земель. Общей теоретической основой постановки задачи оценки дренажа являются закономерности процессов формирования водного и солевого режимов почв. Следует отметить, что изученность отдельных аспектов эффективности дренажа на орошаемых землях различна. Вопросы теории осушающего действия дренажа (воздействие на режим и баланс грунтовых вод) освещены достаточно подробно. Основные теоретические положения проверены опытно-

производственными исследованиями и практикой освоения крупных орошаемых массивов в Вахшской, Ферганской и Чуйской долинах, в Голодной и Каршинской степях, в Азербайджане и Украине [3, 4, 8, 9, 11, 18, 19, 22, 29 и др.].

Учитывая очень сложные гидрогеологические условия работы дренажа (совместное инфильтрационное и напорное питание), оценим осушающее действие горизонтального дренажа на опытных участках в период промывок. Для Голодной степи при $B/T > 3,0$ расстояние между дренами и приток к дренам определяются по формулам:

$$B = \frac{4T}{\pi} \ln \frac{4}{th \left[\frac{\Delta \bar{H} - 1}{\Delta \bar{H}} \ln \frac{8T}{\pi d^*} \right]}, \quad (4.2)$$

Приток к дрене Q , м³/сут. 1 м:

$$Q = \frac{\pi K \Delta H \Delta h}{\ln \frac{8T}{\pi d^*}}, \quad (4.3)$$

где: $\Delta \bar{H} = \frac{\Delta H + qT}{\Delta h}$; $d^* = \sqrt{2d(\Delta h + d)}$; $\bar{q} = \frac{q_0}{K}$;

ΔH - пьезометрический напор, м; Δh - превышение уровня грунтовых вод над дренаем, м; T - мощность покровных отложений, м; q_0 - инфильтрационное

питание, м/сут; d – диаметр дрены, м; K – коэффициент фильтрации, м/сут.

Для условий $V/T \leq 3,0$ приток к дрене определяется по формуле:

$$Q = \frac{\pi K \Delta h (\Delta \bar{H} - 1)}{\frac{\pi T}{B + \ln 2}}, \quad (4.4)$$

где: B – расстояние между дренами, м. Остальные обозначения см. выше [5].

Результаты расчетов подтверждают достаточную точность приведенных формул. Таблица 4.9.

Вместе с тем, вопросы рассоляющего действия дренажа орошаемых земель изучены недостаточно. Основные теоретические разработки в этой области и результаты комплексных экспериментальных исследований изложены в небольшом количестве работ [3, 4, 20]. В связи с этим, основное внимание в опытно-производственных исследованиях было уделено изучению рассоляющего действия горизонтального дренажа.

Используя результаты водно-балансовых и почвенно-мелиоративных исследований и непосредственного определения внутреннего питания горизонтального дренажа, оценим рассоляющее его действие. В качестве критерия рассоляющего действия приняты отношения R/D ; G_p/G_d ; O_p/D . Рис. 4.6 и 4.7.

Таблица 4.9

Сопоставление расчетных и фактических данных, характеризующих осушающее и рассоляющее действие горизонтального дренажа

Показатели	Опытно-производственные участки			
	Голодностепский		Канибадамский	
	Промывки 1 года	Промывки 2 года	Промывки 1 года Поле 2	Промывки 1 года Поле 3
Исходные данные для расчета				
H_d , м	3,5	3,5	3,0	3,0
ΔH , м	2,1	1,72	2,0	2,5
Δh , м	2,4	1,9	2,5	2,5
μ q , м/сут	0,00214	0,00136	0,0025	0,0020
K , м/сут	0,25	0,25	0,15	0,45
T , м	37	37	97	97
d , м	0,5	0,5	0,5	0,5
Расчетные и фактические данные				
B , м	217*	217	170	260
	230	230	200	300
Q , мм	651	516	493	564
	560	526	451	477
P , мм	322	206	0	189
	301	297	0	229
P/D	0,49	0,40	0	0,34
	0,54	0,56	0	0,48
G_p/G_d	0,20	0,16	0	0,20
	0,35	0,38	0	0,24

*в числителе – расчетные, в знаменателе – фактические данные.

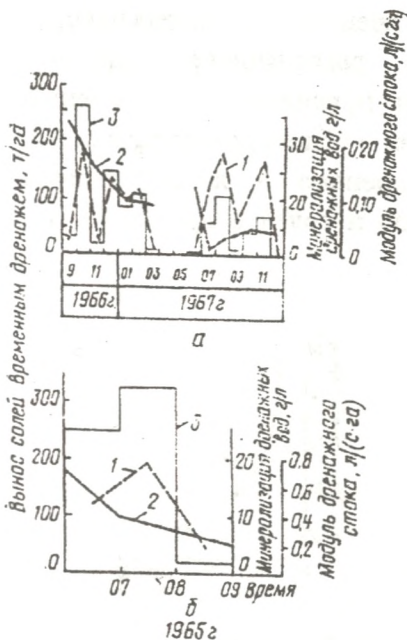


Рис. 4.6 Эффективность работы временного дренажа при промывках:

а — Канибадамский участок; б — Голодностепский участок; 1, 2 — модуль и минерализация дренажного стока; 3 — вынос солей временным дренажем.

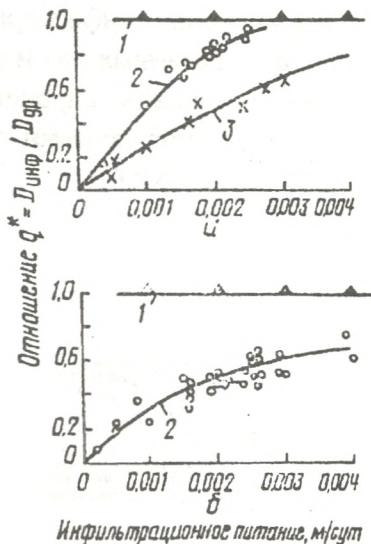


Рис. 4.7 Эффективность рассоляющего действия горизонтального дренажа:

а — Голодностепский участок; б — Канибадамский участок; 1 — временный дренаж; 2 — постоянный закрытый дренаж глубиной 3,5 м; 3 — открытые коллекторы глубиной 4 м.

Полученные данные дают четкое представление о влиянии параметров дренажа и интенсивности инфильтрации на его рассоляющее действие. Увеличение инфильтрации приводит к уменьшению доли подземных вод и солей в общем дренажном стоке, а увеличение глубины дренажа — к возрастанию поступления подземных вод и солей в дренаж [7, 13, 25]. Рис. 4.8 и 4.9.

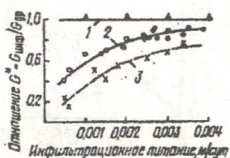


Рис. 4.8 Эффективность рассоляющего действия горизонтального дренажа:

1 — временный дренаж; 2 — постоянный закрытый дренаж глубиной 3,5 м; 3 — открытые коллекторы глубиной 4 м.

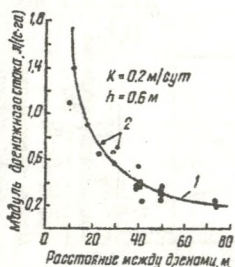


Рис. 4.9 Сопоставление расчетных (1) и натуральных (2) данных по стоку временного дренажа.

Большая эффективность рассоляющего действия постоянного горизонтального дренажа на Канибадамском участке по сравнению с Голодностепским объясняется мощной толщей покровных отложений. Таким образом, действительная эффективность рассоляющего действия глубокого горизонтального дренажа значительно ниже той, которая обычно устанавливается по общему

дренажному стоку и выносу солей. Этим и объясняется несоответствие расчетных и фактических данных по солевому балансу (см. таблицу 4.1.). При глубине временного дренажа 0,6-1 м он отводит только промывные воды [7, 13, 25].

Результаты исследований позволили дать сравнительную оценку эффективности рассоляющего действия глубокого и мелкого систематического горизонтального дренажа, применяемого при борьбе с засолением орошаемых земель. Такая оценка представляла в то время практический интерес, так как не существовало единого мнения в отношении глубины дренажа. Основным условием оптимальности глубины горизонтального дренажа орошаемых земель является обеспечение требуемого водного и, главным образом, солевого режима почв при наиболее рациональном расходовании оросительных вод. С этих позиций глубокий (3-4 м) горизонтальный дренаж является более экономным по следующим соображениям:

- в период промывок глубокий дренаж обеспечивает большую глубину опреснения почв при меньших удельных затратах промывной воды;

- в период освоения промытых земель требуемый водно-солевой режим почв обеспечивается при меньшей интенсивности промывного режима орошения.

Было бы, однако, неверным противопоставлять глубокий дренаж мелкому. В определенных условиях

(пресные грунтовые воды и опресненные грунты) мелкий дренаж, с экономической и экологической точек зрения, более эффективен. Это подтверждается опытом древнего орошения в Средней Азии [6].

Зависимость модуля дренажного стока временных дрен от расстояния между ними, по данным исследований, приведена на рис. 4.9

4.5 Оценка моделей солепереноса и возможности их применения для описания процессов формирования водно-солевого режима орошаемых земель в пустынной зоне

Точность и детальность моделирования природных процессов зависят, прежде всего, от полноты системного анализа, то есть от полноты представлений о физической сущности взаимосвязанных и взаимодействующих процессов, обоснованности выбора лимитирующих явлений и факторов и правомерности уравнений, описывающих эти явления. В связи с этим, оценка разработанных моделей и методов расчета водно-солевого режима орошаемых земель выполнялась по трем свойствам: адекватности, общности и точности.

Разработанные модели влаго- и солепереноса (уравнение конвективной диффузии) основаны на фундаментальных законах природы (Дарси, Фика, Фурье). Такой подход к оценке массопереноса в

пористых средах широко применяется в различных отраслях производства и доказывать адекватность и общность моделей влаго- и солепереноса нет надобности.

Точность моделей зависит от гидрохимических параметров, поэтому основной задачей опытно-производственных исследований было определение параметров, характеризующих процессы солепереноса в почвах. К числу основных гидрохимических параметров для почв пустынной зоны относятся параметры, характеризующие фильтрационную гетерогенность и особенности структуры почв (гидродинамическая дисперсия $- \lambda$ и коэффициент эффективной пористости $- m_e$). Эти параметры определялись для несорбирующихся ионов хлора, для которых любая почва является пористой средой гетерогенной только в фильтрационном отношении. В ряде случаев возникала необходимость определения коэффициента гидродинамической дисперсии для ионов натрия. Для этих ионов почва является гетерогенной как в фильтрационном, так и в физико-химическом отношении. Учитывая очень низкую емкость катионного обмена в пустынных почвах, последствия процессов изменения состава ППК можно не учитывать, а коэффициент λ определять с учетом его изобарно-изотермического потенциала в водных растворах.

В соответствии с принятой методикой были выполнены массовые определения гидрохимических

параметров. Результаты определения коэффициента гидродинамической дисперсии на опытно-производственных участках и обобщение литературных данных приведены в таблице 4.10 и на рисунках 4.11 и 4.12 [6, 13, 25, 26].

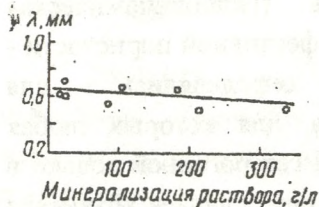


Рис. 4.10 Зависимость коэффициента гидродинамической дисперсии в песках от минерализации фильтрующего раствора (Смирнов, 1971).

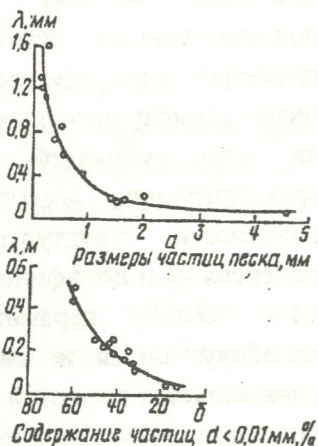


Рис. 4.11 Зависимость коэффициента гидродинамической дисперсии от механического состава почв:
а — пески; б — почвы.

Таблица 4.10

Результаты определения λ

Объект	Число определений	λ , м	Ошибка среднеквадратичная, m_k , %
Канибадамский участок	31	0,23	6,0
Голодностепский участок	21	0,14	11,0
Мильская степь	3	0,13	6,0
Арысь-Туркестанская оросительная система	20	0,16	11,0
Супесь	2	0,04	-
Пески	90	0,0006	3,0

Приведенные данные позволяют сделать некоторое обобщение в отношении параметра гидродисперсии и конвективной диффузии: величина λ является характеристикой пористой среды и практически не зависит от минерализации и скорости фильтрации растворов (рис. 4.10); в песчаных грунтах λ существенно зависит от характерного размера частиц. Зависимость $\lambda = f(d < 0,01 \text{ мм})$ наблюдается для связных грунтов и почв (рис. 4.11). Аналогичная зависимость показателя солеотдачи (α) от механического состава получена В.Р. Волобуевым [10]; зависимость коэффициента конвективной диффузии от V в общем случае имеет вид: $D^* = D_m + \lambda V^r$ (где r – показатель степени, $r = \exp[0,01(m_v/m_m)]$).

Эффективная пористость учитывает характер структуры почв и массообмен между сквозными и внутриагрегатными порами. Задача определения эффективной пористости существенно упрощается, если учесть, что ионы хлора практически не сорбируются минеральной частью почв и выравнивание концентрации раствора в сквозных и внутриагрегатных порах при $V < 0,1$ м/сут. происходит достаточно быстро. Эффективная пористость $m_e = m(m_v/m_m)$. В почвах пустынной зоны при общей пористости $\leq 0,4$ эффективная пористость равна m . Рис 4.12.

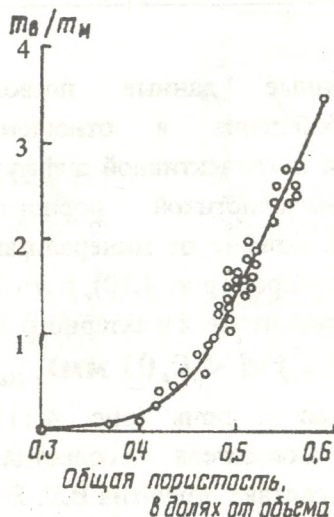


Рис.4.12 Зависимость структуры порового пространства почв от общей пористости.

4.6 Точность моделей влаго- и солепереноса в почвах пустынной зоны

Оценка точности моделей, то есть их способности количественно описывать возможные изменения солевого режима орошаемых земель, выполнена по материалам водно-балансовых и почвенно-мелиоративных исследований на опытно-производственных участках в период промывок и вегетационных поливов. Располагая данными по динамике водного и солевого режимов земель в различные периоды их освоения, и зная величины гидрохимических параметров, оценим соответствие разработанных моделей результатам опытно-производственных исследований [6, 7, 13, 14, 25, 26].
Таблица 4.11.

Таблица 4.11

Сопоставление расчетных и фактических данных по распределению солей в почве

Поле	Число скв.	m, %	L, м	Содержание ионов хлора по горизонтам, %					
				0-20	20-40	40-60	60-80	80-100	100-200
Канибадамский участок									
1	50	0,425	0,23	0,163*	0,113	0,096	0,101	0,116	0,166
				0,031	0,049	0,075	0,107	0,143	0,209
2	60	0,455	0,23	0,047	0,045	0,044	0,046	0,053	0,060
				0,012	0,018	0,026	0,038	0,052	0,104
3	20	0,42	0,23	0,085	0,080	0,093	0,111	0,120	0,140
				0,045	0,079	0,101	0,106	0,100	0,120
Голдностепский участок									
	29	0,45	0,14	0,019	0,016	0,017	0,022	0,024	0,041
				0,006	0,009	0,012	0,020	0,040	0,040

*в числителе – фактические, в знаменателе – расчетные данные

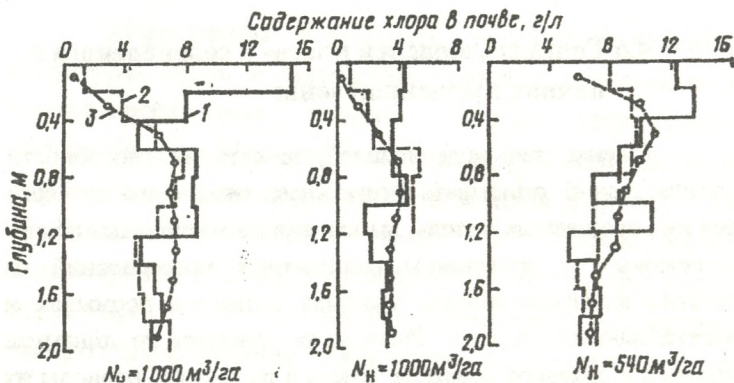


Рис. 4.13 Сопоставление расчетных и натуральных данных по перераспределению Cl^- в почвах (Каримов, 1972):
1, 2, 3 — содержание исходное, после промывок, расчетное.

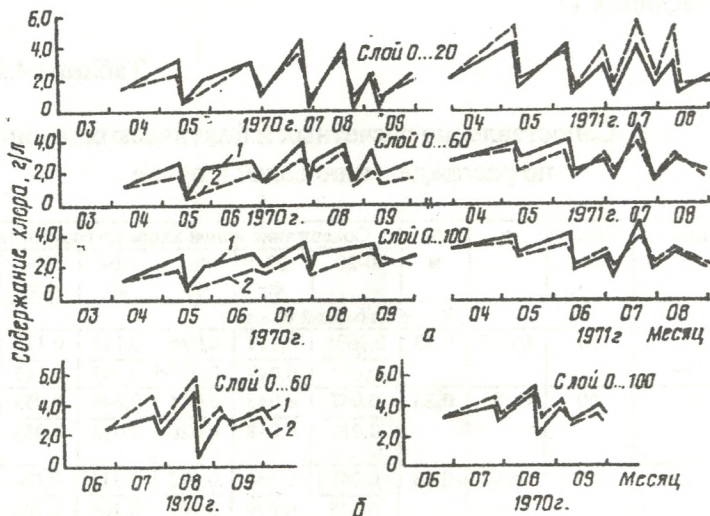


Рис. 4.14 Расчетные (1) и натурные (2) данные по динамике Cl^- в почвах в вегетационный период (Каримов, 1972):
а, б — почвенные площадки 3 и 3^б.

На рис. 4.13 и 4.14 приведены расчетные и фактические данные по динамике ионов хлора в почве Канибадамского массива в период влагозарядковых и вегетационных поливов. Режим орошения предусматривал поддержание влажности в корнеобитаемом слое в пределах 0,7-0,9 ППВ. Нормы влагозарядковых и вегетационных поливов составляли 500-2500 м³/га, а оросительные нормы – 8,4-11,1 тыс. м³/га [14].

Анализ приведенных материалов дает основание полагать, что разработанные модели с достаточной для практики точностью описывают динамику ионов хлора в почвах при промывках и вегетационных поливах. Рис. 4.15.

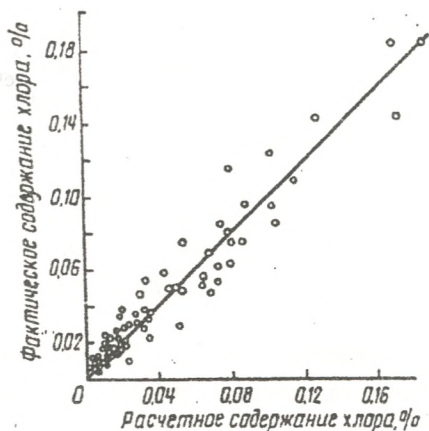


Рис.4.15 Сравнение расчетных и натуральных данных по изменению содержания Cl⁻ в слое 0...100 см.

Разработанные модели имеют тенденцию к некоторому занижению расчетного содержания хлора в почвах, особенно при высокой степени опреснения. Отклонение расчетного содержания хлора в почвах от фактического составляет в среднем 0,85%. Основными причинами занижения расчетного содержания хлора являются неоднородность почв и гидрохимических параметров по профилю.

Список литературы, использованной в главе 4

1. Aral Sea Basin. World Bank Program.3.1.B, Improvement of Agricultural Water Quality, 1995.
2. Gateway to Land and Water information. Tashkent, Uzbekistan, 1999.
3. Аверьянов С.Ф. Горизонтальный дренаж при борьбе с засолением орошаемых земель. М, АН СССР, 1959.
4. Аверьянов С.Ф. Некоторые вопросы предупреждения засоления орошаемых земель и меры борьбы с ним в Европейской части СССР. М, Колос, 1965.
5. Аверьянов С.Ф. О расчете осушительного действия горизонтального дренажа в условиях напорного питания. М, Научные записки МИИВХ, 1960, том XXII.
6. Айдаров И.П. Регулирование водно-солевого и питательного режимов орошаемых земель. М, Агропромиздат, 1985.
7. Баженов М. Исследование эффективности действия горизонтального дренажа в зоне ЮГК Голодной степи. –М., 1967г. Кандидатская диссертация

8. Ваксман Э.Г. Эффективность горизонтального дренажа в условиях напорного питания на примере Караланеского опытно-мелиоративного участка. Автореферат кандидатской диссертации, Душанбе, 1966.
9. Ведерников В.В. Теория фильтрации и ее применение в области ирригации и дренажа. М, Госстройиздат, 1939.
10. Волобуев В.Р. О промывных нормах при мелиорации засоленных земель. Гидротехники и мелиорация, № 12, 1959.
11. Дуюнов И.К. Мелиорация земель в условиях напорного питания грунтовых вод. М, Колос, 1978.
12. Енгулатов И.А., Еременко Г.В., Усманов А. О критической глубине грунтовых вод. Гидротехника и мелиорация № 7, 1964.
13. Исследование действия горизонтального дренажа на опытном участке Канибадамского массива. М, НИС МГМИ, 1965. Рукопись.
14. Каримов Э.К. Вопросы обоснования промывного режима орошения на засоленных дренированных землях (на примере Канибадамского массива). -М., 1973г. Кандидатская диссертация

15. Ковда В.А. Происхождение и режим засоленных почв. Том. 1-2, М, АН СССР, 1947.
16. Ковда В.А. и др. Значение дренажа в повышении плодородия почв. М, АН СССР, 1956.
17. Королькова Т.П., Рекс Л.М. Определение запасов солей и эпюры исходного засоления почво-грунтового слоя. Почвоведение, № 2, 1971.
18. Костяков А.Н. Избранные труды. М, Сельхозгиз, 1961.
19. Легостаев В.М. Промывные поливы засоленных земель. М, 1953.
20. Минаев В.А. О рассоляющем действии горизонтального дренажа. М, АН СССР. ОТН, № 8, 1957.
21. Новикова А.В. Геохимические и режимные закономерности солепереноса в степном Крыму. Тр. Харьковского сельскохозяйственного института им. В.В. Докучаева, том 39, 1862
22. Пестов Л.Ф. Исследование рассоляющего действия горизонтального дренажа и промывок на орошаемых землях. Гидротехника и мелиорация, № 3, 1974.
23. Польшов Б.Б. Избранные труды. М, АН СССР, 1956.

24. Постановление Всесоюзной научно-технической конференции по вопросам борьбы с засолением и улучшения мелиоративного состояния орошаемых земель Средней Азии, Казахстана и Азербайджана. Ташкент, 1964.
25. Разработка методов расчета дренажа и промывок засоленных земель Голодной степи на основе полевых производственных исследований. М, НИС МГМИ, 1966, Рукопись.
26. Рекс Л.М. Определение параметров переноса солей. В кн. Теория и практика борьбы с засолением орошаемых земель. М, Колос, 1971.
27. Решеткина Н.Н., Пушкарева З.П. Вопросы гидротехники. Ташкент, АН УзССР, вып.9, 1963.
28. Харламова Л.Ф. Исследование водно-солевого режима солончаков при промывках (на примере опытного участка Канибадамского массива Таджикской ССР). –М., 1973г. Кандидатская диссертаци.
29. Шестаков В.М. Теоретические основы оценки подпора, водопонижения и дренажа. М, МГУ, 1965.

Глава 5

5.1 Результаты опытно-производственных исследований в степной и сухостепной зонах

Широкое развитие орошения земель в Поволжье, на Северном Кавказе, в Украине и Молдавии началось с 1966 г, когда была принята Государственная программа развития мелиорации земель. В основу развития орошения, несмотря на существенные отличия природных условий, был положен опыт среднеазиатских республик. Последствия такого подхода к орошению земель в степной и сухостепной зонах сказались быстро. Уже к началу 70-х годов на многих орошаемых массивах проявились негативные изменения почвенно-мелиоративных условий. К сожалению, исследования этого периода традиционно были направлены на изучение водного и солевого балансов орошаемых земель и обоснование параметров дренажа и не оценили опасность негативных изменений почвенно-мелиоративных условий [16, 19, 34, 35, 36, 55, 62 и др.]. Изменения почвенно-мелиоративных условий, в отличие от пустынной зоны, носили другой характер. Процессы засоления орошаемых земель в большинстве случаев проявлялись не в накоплении солей в почвах, а в изменении состава почвенных растворов и ГПК и, как следствие, в резком ухудшении водно-физических, физико-химических свойств и плодородия черноземных и каштановых почв.

Для количественного описания этих сложных процессов, разработанные для пустынной зоны модели солепереноса и методы расчета солевого режима, не годились. Они с достаточной точностью описывали динамику несорбирующихся ионов хлора, но не учитывали взаимодействие почвенных растворов и ППК. Черноземные и каштановые почвы представляли собой пористые среды, гетерогенные не только в фильтрационном, но и в физико-химическом отношении. При фильтрации многокомпонентных смесей в процессах физико-химического взаимодействия участвуют несколько ионов, сорбция каждого из которых зависит от общей концентрации и химического состава раствора.

В связи с этим, первоочередной задачей исследований было моделирование почвенно-мелиоративных процессов, в том числе разработка модели солепереноса, учитывающей не только конвективную диффузию, но и взаимодействие почвенных растворов с ППК. Учитывая сложный характер этих взаимодействий, при разработке моделей солепереноса были введены некоторые упрощения [3, 5, 6, 22, 50, 57, 58]:

- в растворах содержится три наиболее часто встречающихся в почвах иона – натрий, кальций, магний;

- процесс сорбции каждой пары ионов Na-Ca и Na-Mg происходит независимо от содержания остальных ионов;

- при скоростях фильтрации в почвах $< 0,1$ м/сут. в любой момент времени устанавливается ионообменное равновесие, что дает основание рассматривать равновесную динамику сорбции.

Исходя из этих допущений математическая модель совместного переноса нескольких ионов в почвах с учетом равновесной динамики сорбции записывается в следующем виде [1, 3, 8. 51]:

$$m_1 \frac{dC_1}{dt} = D_1^* \frac{d^2 C_1}{dx^2} - V(t) \frac{dC_1}{dx} - \frac{dN_1}{dt}; \quad (5.1)$$

$$m_2 \frac{dC_2}{dt} = D_2^* \frac{d^2 C_2}{dx^2} - V(t) \frac{dC_2}{dx} - \frac{dN_2}{dt}; (0 \leq x \leq l); \quad (5.2)$$

$$m_3 \frac{dC_3}{dt} = D_3^* \frac{d^2 C_3}{dx^2} - V(t) \frac{dC_3}{dx} - \frac{dN_3}{dt}; \quad (5.3)$$

$$\frac{(N_1)^{\frac{1}{z_1}}}{(N_2)^{\frac{1}{z_2}}} = K_1(i) \frac{(C_1)^{\frac{1}{z_1}}}{(C_2)^{\frac{1}{z_2}}}; \frac{(N_1)^{\frac{1}{z_1}}}{(N_3)^{\frac{1}{z_3}}} = K_2(i) \frac{(C_1)^{\frac{1}{z_1}}}{(C_3)^{\frac{1}{z_3}}}; \quad (5.4)$$

$$N_1 + N_2 + N_3 = N_0(x) \quad (5.5)$$

Система уравнений (5.1)-(5.3) не замкнута, поэтому она дополнена уравнениями (5.4), описывающими взаимодействие пар ионов между растворами и ППК, и уравнением баланса ионов в ППК (5.5). Приведенная система уравнений решается численным методом при следующих начальных и граничных условиях:

$$t = 0 \left\{ \begin{array}{l} C_j(x, 0) = C_{j0}(x) \\ N_j(x, 0) = N_{j0}(x) \end{array} \right\}; \quad (5.6)$$

$$t > 0 \left\{ \begin{array}{l} x = 0; (C_j - C_{jn})V = D_j^* \frac{dC_j}{dx}; j = 1, 2, 3 \\ x = l; \frac{dC_j}{dx} = 0 \end{array} \right\}; \quad (5.7)$$

где: $C_j(x, 0)$; $C_j(x, t)$; $N_j(x, 0)$; $N_j(x, t)$ – содержание ионов Na, Ca, Mg в почвенном растворе и ППК в точке x от поверхности земли в начальный момент времени и в момент времени t , мг-экв/100 г; C_{j0} и N_{j0} – то же самое в начальный момент времени, мг-экв/100 г; C_{jn} – содержание ионов в оросительной воде, мг-экв/100 г; $N_0(x)$ – емкость катионного обмена в почве, мг-экв/100 г; D_j^* – коэффициент конвективной диффузии, м²/сут; $V(t)$ – скорость фильтрации м/сутки; l – мощность почвенного слоя, м; z_i – валентность ионов; m_i – эффективная пористость в долях от объема; $K_j(i)$ – коэффициент изотермы сорбции; i – ионная сила

раствора; $N_{1,2,3}$ – содержание ионов Na, Ca, Mg в ППК, мг-экв/100 г.

Модель записана в общем виде, из нее, в зависимости от конкретных природных условий и поставленных задач, может быть получен любой частный случай. Например: сорбция двух разно- или равновалентных ионов или перенос несорбирующихся ионов хлора. Предложенная модель переноса солей учитывает основные особенности реальных почв и позволяет подойти не только к оценке направленности почвенных процессов, но и разработке системы мероприятий по управлению природными системами.

Учет физико-химической гетерогенности почв особенно важен при управлении свойствами и плодородием черноземных и каштановых почв. Важность физико-химических процессов (ионообменной сорбции) заключается в огромной емкости почвенно-поглощающего комплекса [7, 21, 31, 37, 57, 58]. Таблицы 5.1 и 5.2.

Таблица 5.1

Соотношение содержания ионов Na, Ca и Mg в почвенных растворах и ППК

Почвы	ППК		Содержание ионов в почвенном растворе (С)	ППК/ С
	Мг-экв/100 г	% к массе почвы		
Черноземные	30-50	0,6-1,0	0,05-0,10	10-20
Каштановые	20-40	0,4-0,8	0,10-0,20	2-8
Сероземные	5-15	0,1-0,3	0,15-0,50	0,2-2

Таблица 5.2

Роль фильтрационной и физико-химической гетерогенности почв в процессах переноса ионов Cl и Na

Почвы	Объем воды, необходимый для выноса 90 % ионов, в долях от пористости		Процесс переноса ионов Na, обусловленный, %	
	Cl	Na	Конвективной диффузией	Ионообменной сорбцией
Черноземные	4-6	10-30	10-30	70-90
Каштановые	3-4	6-20	20-50	50-80
Сероземные	2-3	2-4	60-100	0-40
Песчаные	1	1	100	0

Основная сложность практического использования разработанной модели заключается в необходимости определения нескольких параметров, характеризующих процессы переноса ионов в почвах. Однако отдельный учет конвективной диффузии и ионообменной сорбции дает возможность значительно упростить методику определения параметров. Анализ результатов теоретических и экспериментальных исследований показывает, что процессы конвективной диффузии и массообмена между сквозными и тупиковыми порами зависят главным образом от структуры порового пространства почв. Природа ионов и их размеры не оказывают существенного влияния на процессы переноса [1, 3, 4, 5, 8, 45, 57, 58]. Эти данные позволили сделать вывод, что параметры m и λ могут

определяться только для несорбируемого иона хлора и, следовательно, мы имеем дело с двумя параметрами переноса, характеризующими процессы конвективной диффузии и массообмена. Такое допущение правомерно в случае, когда явление ионообменной сорбции и ее влияние на процессы переноса рассматриваются отдельно.

Исследование процессов переноса различных ионов в предкавказских черноземах проводились на 10 монолитах (№12-21) ненарушенной структуры диаметром 0,71 м и высотой 1 м, и на двух опытных площадках размером 5 x 5 м. Данные этих исследований позволили проанализировать особенности переноса ионов и изменения состава ППК и оценить основные закономерности ионного обмена. В опытах использовалась вода Таганрогского залива. Монолиты промывались минерализованной водой из расчета 20 000 м³/га. На первом этапе промывок использовалась минерализованная вода, на втором – пресная. По данным промывки строились выходные кривые $C = f(\Pi)$, где Π – число смен порового раствора. Опытные площадки расположены в пределах орошаемой части опытного участка. Водоподача осуществлялась отдельными тактами. До и после каждого такта проводилось определение содержания солей в 5-кратной повторности до глубины 1 м и в 3-кратной до глубины 5 м. Характеристики промывки монолитов и опытных площадок даны в таблицах 5.3 и 5.4.

Таблица 5.3

Характеристика промывки монолитов 12-21

№ монолита	Засоление				Рассоление			
	Исходное содержание ионов, г/л		Минерализация промывной воды, г/л		Исходное содержание ионов, г/л		Минерализация промывной воды, г/л	
	Cl	Na	Cl	Na	Cl	Na	Cl	Na
12	2,457	0,547	5,140	3,490	4,118	1,794	0,575	0,621
13	-	-	3,124	-	-	-	0,582	-
15	0,525	0,147	2,258	1,610	2,201	0,874	0,589	0,598
16	0,781	0,193	2,492	1,802	2,371	0,828	0,582	0,543
17	-	-	5,020	-	-	-	0,582	-
19	1,037	0,166	2,655	1,785	2,272	0,920	0,582	0,635
20	1,108	0,166	2,599	1,711	2,457	0,782	0,582	0,589
21	1,519	0,267	3,167	2,226	2,968	1,030	0,582	0,589

Таблица 5.4

Характеристика промывки опытных площадок

Дата полива	№ полива	Норма, м ³ /га	Минерализация поливной воды, г/л			
			Cl	Ca	Mg	Na
Площадка А						
3.08.70	1	2440	0,127	0,040	0,032	0,119
8.08.70	2	792	0,134	0,051	0,032	0,113
18.08.70	3	792	0,121	0,100	0,163	1,012
5.09.70	4	792	0,127	0,040	0,036	0,074
Площадка Б						
3.08.70	1	2440	0,127	0,040	0,032	0,119
8.08.70	2	792	0,134	0,051	0,032	0,113
15.08.70	3	792	0,106	0,040	0,028	0,105
4.09.70	4	396	0,247	0,070	0,054	0,184

Результаты исследований использовались для оценки характера выщелачивания сорбирующихся и несорбирующихся ионов в черноземах и определения параметров солепереноса. Рис. 5.1.

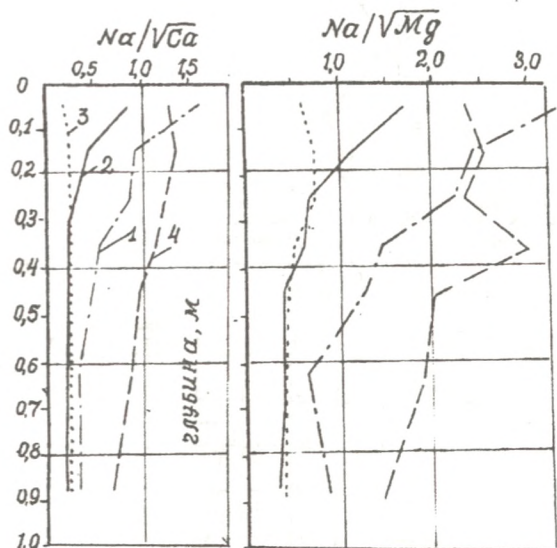


Рис. 5.1 Изменение отношения Na/\sqrt{Ca} и Na/\sqrt{Mg} .

1 - поле 1, 1969 г.; 2- поле 2, 1969г.;
3 - поле 3, 1969 г.; 4- поле 1, 1972 г.

Полученные данные показывают существенное различие в характере выноса ионов хлора и натрия.

Примеры определения параметров λ и m_3 по Приморскому участку приведены на рис. 5.2 и 5.3

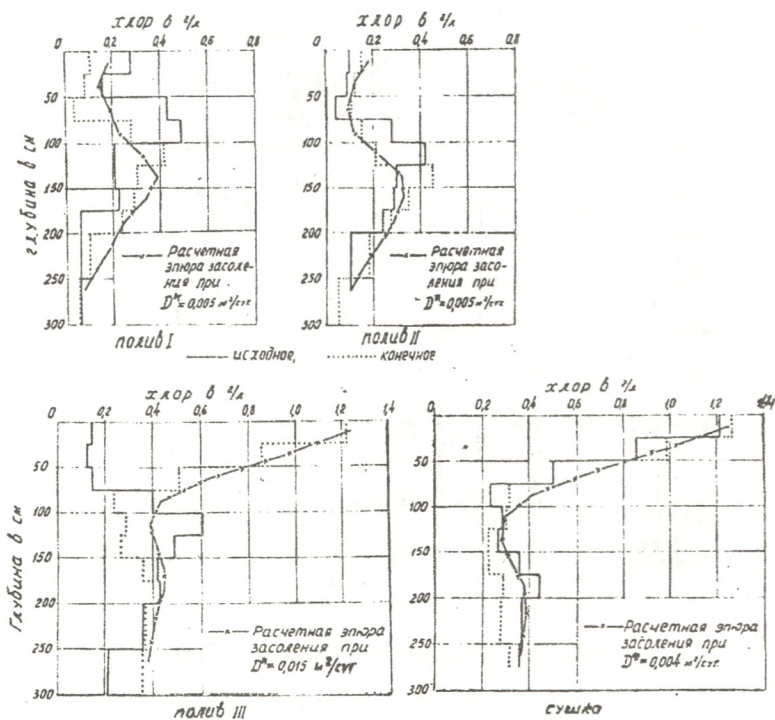


Рис 5.2 Результаты расчета λ по данным промывки опытной площадки.

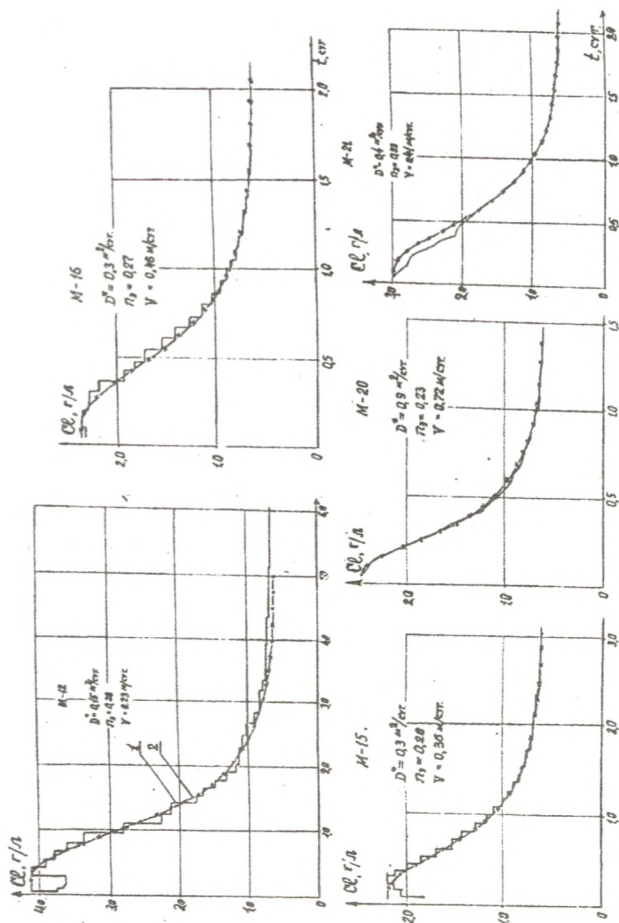


Рис. 5.3 Результаты определения λ по данным пронижки монолитов. Выходные кривые: 1 - фактические; 2 - расчетные

Параметры солепереноса на Кисловском и Азовском опытных участках определялись по данным промывок опытных площадок. Результаты определения параметров солепереноса приведены в таблице 5.5.

Таблица 5.5

Результаты определения λ и m_s

Объект	Число определений	λ , м	m_s , в долях от объема	Ошибка, %
Кисловский участок	20	0,24	0,50	9
Приморский участок	50	0,32	0,53	11
Азовский участок	5	0,35	0,52	16

Полученные результаты подтверждают выводы о независимости переноса ионов хлора от концентрации промывной воды. Рис. 5.4

Сложнее обстояло дело с определением коэффициентов изотерм сорбции. Дело в том, что процессы ионообменной сорбции в почвах зависят не только от содержания и соотношения ионов Na, Ca и Mg, но и от общей минерализации и ионной силы фильтрующихся растворов и величины ППК [1, 3, 12, 22, 50, 64]. Коэффициенты изотерм ионообменной сорбции определялись по данным наблюдений за

составом почвенных растворов и ППК. Результаты опытно-производственных и лабораторных исследований в степной и сухостепной зонах и обобщение результатов других авторов позволили оценить коэффициенты ионообменной сорбции для пар ионов Na-Ca и Na-Mg. Результаты определения коэффициентов изотерм сорбции показали, что для практических целей представляется целесообразным рассматривать два характерных диапазона ионной силы почвенных растворов ($\leq 0,05$ и $0,05-0,2$). Таблица 5.6.

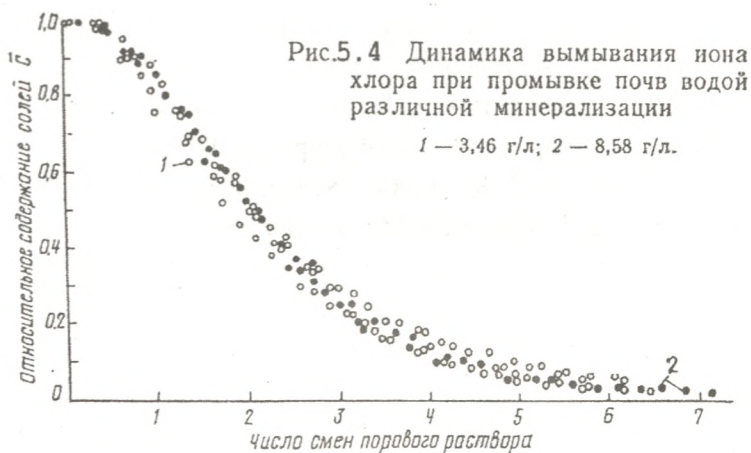


Таблица 5.6

Коэффициенты изотерм сорбции

Почва	ППК, мг-экв/100 г	Ионная сила	Число определений	Значение коэффициентов
Черноземные	50	$\leq 0,05$	11	$1 \pm 0,09$
Черноземные	30	0,05-0,2	30	$0,22 \pm 0,01$
Каштановые	25	$\leq 0,05$	19	$0,6 \pm 0,08$
Каштановые	25	0,05-0,2	21	$0,16 \pm 0,02$
Светло каштановые	15-20	$\leq 0,05$	32	$0,44 \pm 0,06$
Светло каштановые	15-20	0,05-0,2	30	$0,13 \pm 0,01$
Сероземные	5-10	$\leq 0,05$	17	$0,10 \pm 0,03$
Сероземные	5-10	0,05-0,2	28	$0,05 \pm 0,01$

Обобщение и анализ полученных данных показали, что значения коэффициентов изотерм сорбции в выделенных диапазонах ионной силы почвенных растворов зависят от емкости катионного обмена: для пары ионов Na-Ca при $i \leq 0,05$ $K = 0,0265N$; при $i = 0,05-0,2$ $K = 0,0065 N$. Коэффициенты изотерм сорбции пары ионов Na-Mg составляют: $K = 0,032 N$ и $K = 0,008 N$, где N – емкость катионного обмена.

Рис. 5.5

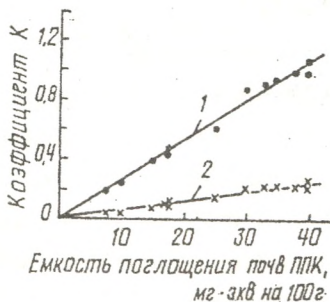


Рис. 5.5 Зависимость коэффициентов изотермы сорбции Na—Ca в почвах (ППК и ионной силы почвенных растворов: 1, 2 — при ионной силе $i \leq 0,05$ $i = 0,05...0,2$.

При невысоком содержании солей в почвенных растворах и высоких значениях ППК процесс выноса ионов Na, Ca и Mg определяется в основном физико-химической гетерогенностью почв, что приводит к значительному «размазыванию» фронта и замедлению процесса выноса ионов. В этом случае характер выноса ионов будет зависеть от концентрации и состава почвенных растворов. Увеличение содержания Ca и Mg в растворе ускоряет процесс выноса ионов Na и наоборот. С увеличением концентрации фильтрующихся растворов влияние ионообменной сорбции на процессы солепереноса снижается и при концентрации растворов более 20 г/л практически исчезает. В этом случае перенос ионов хлора, натрия, кальция и магния происходит одинаково. Рис. 5.6.

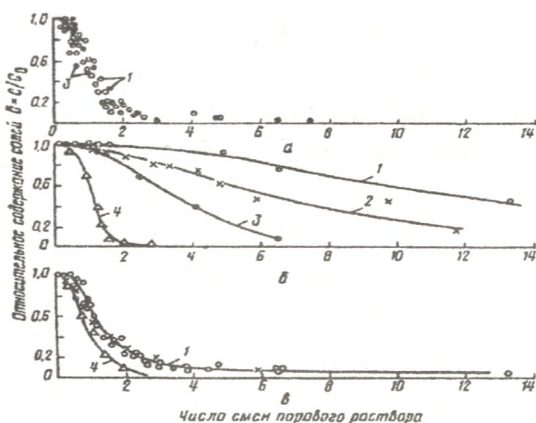


Рис. 5.6 Динамика вымывания различных ионов при промывках и химических мелиорациях:
 а — Cl; б — Ca; в — Na; 1, 2, 3, 4 — при концентрации Ca в промывной воде 1,08 г/л, 2,52; 5,6; 20,6 г/л.

Таким образом, разработанная модель солепереноса (5.1)-(5.7), учитывает основные особенности переноса различных ионов и формирования солевого режима почв в степной и сухостепной зонах.

Эти исследования в нашей стране были выполнены впервые. В период 1970-73 г.г. фактические данные о влиянии орошения на солевой режим, свойства и плодородие почв имелись всего в нескольких работах [13, 64]. Детальные исследования водного и солевого режима черноземных и каштановых почв начались значительно позже – в 1976-78 г.г., когда негативное влияние орошения, в том числе с использованием минерализованных вод, проявились повсеместно.

В связи с этим, перед началом полевых исследований в сухостепной и степной зонах необходимо было оценить возможность использования выполненных теоретических разработок для практических целей и уточнить состав и методику опытно-производственных исследований. Для этого была проведена серия численных экспериментов с использованием разработанной модели солепереноса, в задачу которых входила оценка работоспособности модели, то есть ее способность описывать процессы формирования солевого режима почв, обладающих высокой емкостью катионного обмена, в том числе:

- оценка влияния режима и длительности орошения на формирование солевого режима почв;

- оценка влияния орошения минерализованными водами на солевой режим почв;

- оценка влияния микрорельефа и, связанная с ним, неравномерность увлажнения на солевой режим почв, включая формирование солонцов и комплексного почвенного покрова.

Для оценки влияния режима и длительности орошения на содержание ионов Na, Ca и Mg в почвенном растворе и ППК были проведены расчеты при следующих исходных данных: ППК = 40 мг-экв/100 г; сумма солей в почве 0,1 %; оросительные нормы 1,2 и 4,0 тыс. м³/га; продолжительность орошения – 10 лет; минерализация поливной воды – 0,5 г/л; в том числе Na – 0,61; Ca – 0,25; Mg – 0,16 мг-экв/100 г. Результаты расчетов приведены в таблице 5.7

Таблица 5.7

Содержание ионов Na, Ca и Mg в почвенном растворе и ППК

Состав почвенного раствора, мг-экв/100 г			Состав ППК, мг-экв/100 г		
Na	Ca	Mg	Na	Ca	Mg
Исходное содержание ионов, мг-экв/100 г					
0,89	1,10	0,17	5	31	4
При орошении нормами 1,2 тыс. м ³ /га					
0,64	0,34	0,16	6	25	9
При орошении нормами 4 тыс. м ³ /га					
0,61	0,26	0,16	6	24	10

Полученные данные показывают, что орошение черноземных почв водой минерализацией 0,5 г/л сопровождается неблагоприятным изменением состава почвенных растворов и ППК. Увеличение оросительных норм усиливает эти процессы, при этом содержание ионов в почвах снижается, в то время как содержание натрия и магния в ППК растет. Сопоставление полученных расчетных данных с данными натуральных наблюдений свидетельствует о том, что модель в целом правильно описывает направленность процессов трансформации солевого режима почв [13, 23] (см. таблицу 2.4). Результаты расчетов интересны еще и тем, что модель солепереноса отражает природные почвенные процессы: вымыв ионов кальция и образование мало натриевых солонцов, которые в природе образуются при повышенном увлажнении солонцеватых почв пресными водами.

Для оценки влияния минерализации и химизма оросительных вод на характер изменения состава почвенного поглощающего комплекса исследуем предельный случай ($t \rightarrow \infty$), используя данные по химизму природных вод и физико-химическим свойствам почв [18]. Таблица 5.8. Рис. 5.7

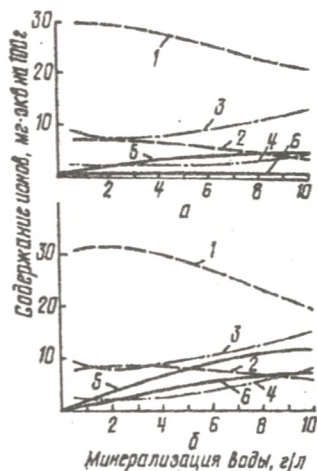


Рис. 5.7 Изменение содержания ионов Na, Ca и Mg в почве при орошении водами различной минерализации:

а, б — относительное содержание ионов в ППК и в почвенном растворе и ППК; 1, 2 — содержание Ca при ППК=40 и 10 мг·экв на 100 г; 3, 4 — содержание Mg при ППК=40 и 10 мг·экв на 100 г; 5, 6 — содержание Na при ППК=40 и 10 мг·экв на 100 г.

Таблица 5.8

Минерализация и состав поверхностных вод

Минерализация, г/л	Химический состав воды мг-экв/л			Соотношение ионов	
	Na	Ca	Mg	$\frac{Na}{\sqrt{Ca}}$	$\frac{Na}{\sqrt{Mg}}$
0,3	2,2	2,5	2,0	1,39	1,56
0,5	3,5	4,5	3,0	1,65	2,02
1,0	12,3	11,0	5,0	3,71	5,49
1,5	15,2	14,0	5,8	4,06	6,31

Как видим, с увеличением минерализации поверхностных вод возрастает соотношение ионов, что свидетельствует о внедрении натрия и магния и вытеснении кальция из ППК. Интенсивность этих

процессов увеличивается с ростом емкости поглощения почв. Уменьшение общего содержания кальция в почвах явление отрицательное и означает необходимость применения химических мелиораций с целью восполнения его дефицита при орошении почв степной и сухостепной зон даже пресными водами. Остановимся еще на одной особенности процесса переноса сорбирующихся ионов в почвах. На рис. 5.8 и 5.9 четко прослеживается эффект разделения смесей, возникающий в процессе фильтрации концентрированных растворов.

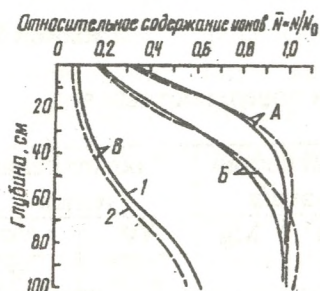


Рис. 5.8 Изменение содержания ионов Na^+ в почвенном растворе при химической мелиорации с использованием CaCl_2 :

A — через 10 сут; B — через 20 сут; B — через 60 сут; 1 — при $C_{1n} = 2,17$ и $C_{2n} = 25$ мг·экв на 100 г; 2 — при $C_{1n} = 2,17$ и $C_{2n} = 50$ мг·экв на 100 г.

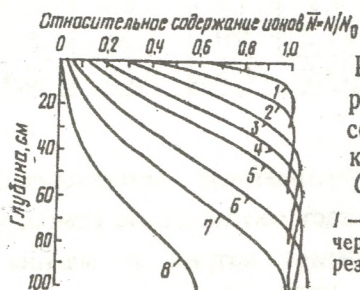


Рис. 5.9 Проявление эффекта разделения смеси при промывках солонца с использованием CaCl_2 концентрацией $C_{1n} = 2,17$ и $C_{2n} = 50$ мг·экв на 100 г:

1 — через 1 сут; 2 — через 5 сут; 3 — через 10 сут; 4 — через 15 сут; 5 — через 20 сут; 6 — через 30 сут; 7 — через 40 сут; 8 — через 60 сут.

Из рисунков 5.8, 5.9 видно, что перед фронтом движущегося раствора возникает зона, в которой концентрация вытесняемого иона превышает его начальное содержание в почве. Степень разделения двухкомпонентной смеси зависит от селективности почв, отношения концентраций вытесняющего и вытесняемого ионов и абсолютной их концентрации. Поскольку обмен ионов между фазами происходит не мгновенно, хроматографическая зона, передвигаясь вниз по профилю почвы, расширяется. Полученный эффект разделения смесей известен и широко применяется в хроматографии, что подтверждает возможность использования разработанной модели солепереноса для обоснования химических мелиораций почв степной и сухостепной зон.

Для оценки влияния неравномерности увлажнения почв на состав почвенных растворов и ППК рассмотрим каштановые почвы с выраженным микрорельефом. Состав поглощенных оснований в почвах на возвышенностях, где преобладают восходящие токи влаги, и в понижениях, где наблюдается промывной режим, различается. Таблица 5.9.

Таблица 5.9

Расчетное содержание Na, Ca и Mg в ППК

Элемент рельефа	Содержание ионов в ППК, мг-экв/100 г		
	Na	Ca	Mg
Возвышения	8	13	4
Понижения	1	18	6

Наряду с численными экспериментами была выполнена оценка влияния сельского хозяйства на водный, биологический и химический режимы почв. Почвы степной зоны сформировались в условиях неустойчивого водного режима и скомпенсированного геохимического баланса, а почвы сухостепной зоны – в условиях недостаточного увлажнения и накопительного геохимического баланса. Распашка и использование почв в сельском хозяйстве привели к резкому изменению водного режима, балансов органических и химических веществ. В таких условиях природные флуктуации содержания органических и химических веществ, вместо того, чтобы затухать, усиливаются и приводят к деградации почв. Имеющиеся данные показывают, что в пахотных почвах наблюдается интенсивная сработка запасов гумуса и содержания химических веществ [14, 17, 20, 63]. Таблица 5.10.

Содержание химических веществ в опаде резко снижается, а состав изменяется в сторону увеличения содержания натрия и магния и уменьшения содержания кальция.

Состав опытно-производственных исследований методов и технологии орошения земель в степной и сухостепной зоне включал:

- исследование водного режима черноземных и каштановых почв в условиях богарного и орошаемого земледелия;

- исследование солевого баланса и динамики солевого режима богарных и орошаемых почв;
- оценку точности разработанной модели солепереноса, учитывающей конвективную диффузию и ионообменную сорбцию;
- оценку возможности использования вод повышенной минерализации для полива почв;
- оценку техники полива;
- обоснование пределов регулирования водного и солевого режимов орошаемых черноземных и каштановых почв.

Таблица 5.10

Изменение водного и геохимического режимов пахотных почв

Показатели	Природная зона	Изменение показателей	
		Естественные условия	Агроценозы
Поверхностный сток, мм	Степная	74	94
Промывной режим, мм		40-60	10-20
Содержание ионов в опаде кг/га:		600	332
В том числе: Na,%		40	115
Ca,%		100	53
Mg,%		55	60
Поверхностный сток, мм	Сухостепная	35	42
Промывной режим, мм		10-20	1-4
Содержание ионов в опаде, кг/га:		332	195
В том числе		40	115
Na,%		100	55
Mg,%		55	60

5.2 Исследование водного режима черноземных и каштановых почв

Опытно-производственный участок Приморской оросительной системы разделен на 3 поля, 2 из которых (1-е и 2-е) орошались с помощью дождевания установками ДДА-100 М. Третье поле не орошалось. На орошаемых полях возделывались овощи, на неорошаемом в различные годы – озимый ячмень, суданская трава и кукуруза на силос. Исследования водного режима проводились в период с 1969 по 1972 г.г.. Полив осуществлялся водами Таганрогского залива.

Земли опытного участка Азовской оросительной системы орошались минерализованными водами Веселовского водохранилища, полив осуществлялся дождеванием ДДА-100М.

Орошение земель опытного участка Кисловской системы влагозарядкового орошения производился одноразовым затоплением по крупным (2,6-15 га) чекам.

Данные о величинах оросительных норм, минерализации и химическом составе поливных вод приведен в таблице 5.11.

Таблица 5.11

Оросительные нормы и минерализация поливных вод

Поле	Год	Оросит. норма, мм	Минерализация поливной воды, г/л	В том числе, г/л		
				Na	Ca	Mg
Приморский участок						
1	1970	91	0,46-1,54	0,1- 0,68	0,04- 0,146	0,019- 0,217
1	1971	101	0,71-2,76	0,2- 0,98	0,04- 0,14	0,045- 0,236
1	1972	185	2,3-4,58	0,179- 0,92	0,08- 0,14	0,05- 0,254
2	1971	173	0,71-2,76	0,20- 0,98	0,04- 0,14	0,045- 0,236
2	1972	60	2,3-4,58	0,179- 0,92	0,05- 0,74	0,05- 0,254
Азовский участок						
	1971	215	1,99	0,39	0,12	0,10
	1972	250	1,99	0,39	0,12	0,10
Кисловский участок						
	1972	424	0,67	0,20	0,10	0,02

Полив земель опытного участка Приморской оросительной системы минерализованными водами Таганрогского залива был обусловлен тем, что орошение черноземов в этой зоне в перспективе планировалось из проектируемого магистрального канала Ростов-Краснодар. Забор воды в канал предполагалось осуществить из Таганрогского залива в районе села Круглое. Минерализация воды в этой части залива колебалась от 0,5 до 6-7 г/л в период нагонов.

Использование вод с минерализацией до 8,95 г/л в модельных опытах с монолитами осуществлялся с целью ускорения почвенно-мелиоративных процессов и изменения свойств и плодородия черноземов.

Водно-балансовые исследования на Приморской оросительной системе и обобщение имеющихся в литературе данных по водному режиму черноземов показали, что в естественных условиях при глубоком залегании грунтовых вод водный режим складывается по типу периодически промывного. Влагообмен с нижележащими горизонтами (глубже 3 м) наблюдается в годы с суммой атмосферных осадков ≥ 500 мм [5, 29, 39, 40, 53, 57, 58]. Анализ многолетних данных естественного увлажнения показал, что периодичность глубокого промачивания составляет 1 раз в 2-4 года для типичных черноземов, для южных черноземов – в 5-10 лет [39].

Орошение существенно изменяет естественный водный режим, переводя его из периодически промывного в постоянный промывной. Интенсивность промывного режима предкавказских черноземов в многолетнем плане зависит от средней величины оросительных норм. Таблица 5.12

Таблица 5.12

Водный режим Приморского опытного участка

Годы	Поле	Статьи водного баланса, мм			ΔW^* , мм	W/m*	W*, % ППВ	Δ УГВ, м	g*, мм
		O _c	O _p	E					
1969-70	1	445	-	336	+76	0,50	0,68	0	-33/0
1970	1	546	91	558	-26	0,56	0,77	1	- 105/110
1971	1	411	101	446	+66	0,54	0,75	1	0/100
1972	1	322	185	345	+30	0,57	0,78	1,5	- 132/150
1969-70	2	434	-	299	+ 112	0,50	0,51	0	-23/0
1971-72	2	1279	233	1150	+ 131	0,55	0,76	1	- 231/200
1969-71	3	640	-	548	+66	0,42	0,47	-0,1	-26/0
1971-72	3	1072	-	883	+90	0,43	0,69	0,3	-99/30

* ΔW – изменение запасов влаги; m – пористость, доли от объема; W – влажность почв; g – промывной режим. В числителе из баланса поверхностных и почвенных вод, в знаменателе – из баланса грунтовых вод. Знак минус перед g означает нисходящие потоки влаги.

Средняя за вегетацию влажность метрового слоя почвы довольно стабильна и составляет: для 1 поля 0,68-0,78 ППВ, для 2 поля – 0,51-0,76 ППВ и для 3 поля – 0,47-0,69 ППВ. Используя полученные данные,

многoletние ряды наблюдений за атмосферными осадками и зависимость влагообмена от суммарной водоподачи, оценим ориентировочно интенсивность промывного режима от величины оросительных норм [3]. Таблица 5.13

Таблица 5.13

Промывной режим орошения в зависимости от величины оросительных норм

Почва	Интенсивность промывного режима в зависимости от величины оросительной нормы, мм			
	100	200	300	400
Черноземы обыкновенные	12	75	160	215
Черноземы типичные	60	140	210	240
Черноземы южные	0-12	35-65	120-150	190-210

Полученные данные дают основание утверждать, что принятые для рассматриваемых условий величины оросительных норм нетто ($3000 \text{ м}^3/\text{га}$) существенно завышены и приводят к нерациональному использованию водных ресурсов. Необходимо также отметить, что эффективность использования атмосферных осадков осенне-зимнего периода на неорошаемой части участка выше, чем на орошаемой. Это соответствует теоретическим представлениям о зависимости влагообмена от влажности почв. Это обстоятельство имеет большое значение, так как говорит о нецелесообразности проведения осенних

влажзарядковых поливов в рассматриваемых условиях (за исключением посевов озимых культур). Проведение осенних влажзарядок приводит к лишним затратам средств на полив и к бесполезной потере значительной части осенне-зимних осадков на глубинные сбросы и питание грунтовых вод. рис. 5.10.

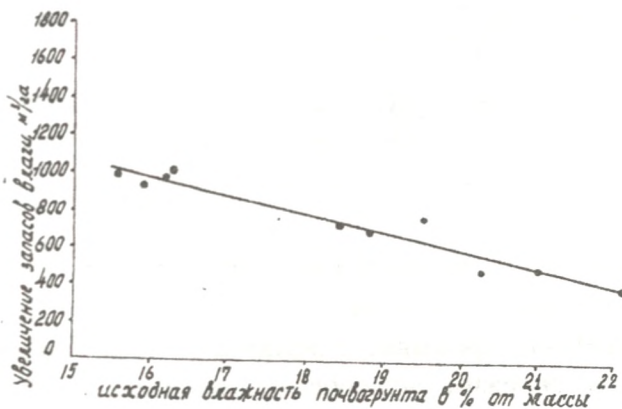


Рис. 5.10 Увеличение запасов влаги в метровой толще в зависимости от исходной влажности почвогрунта.

Водно-балансовые исследования на Азовском опытном участке позволили выявить основные особенности формирования водного режима орошаемых земель в условиях близкого залегания грунтовых вод. Водный режим в многолетнем плане складывается по типу интенсивно промывного. Результаты исследований показали, что влагообмен между почвенными и грунтовыми водами за рассматриваемый период

составляет 40 % от величины оросительной нормы. [39].

Таблица 5.14.

Таблица 5.14

Водный баланс Азовского опытного участка

Период	Статьи водного баланса, мм					ΔW , мм	g, мм
	O _c	O _p	P	E	Д		
4-9.1970	260	215	83	384	295	-122	-213
10.1970- 3.1971	340	-	99	178	101	31	-131
4-9.1971	213	250	99	501	309	-248	-210
4.1970- 9.1971	813	465	281	1063	705	-114	-329

Обобщение имеющихся данных по Азовской оросительной системе подтверждает наличие интенсивного промывного режима. За 20 лет орошения промывной режим (при оросительных нормах 3-4,5 тыс. м³/га) составил 40-46 % от величины оросительной нормы [11]. Такой режим орошения неприемлем как с точки зрения использования водных ресурсов, так и с точки зрения сохранения свойств и плодородия черноземных почв.

Исследования на Кисловском опытном участке проводились только в 1971-72 гг. После кончины академика С.Ф.Аверьянова новое руководство кафедры сельскохозяйственной мелиораций потребовало прекратить полевые исследования в Поволжье. В связи с этим, для оценки влияния лиманного орошения на

водный и солевой режимы почв были использованы обобщенные данные, в том числе, и других авторов [10, 28, 30, 36, 60, 67, 68]. Таблица 5.15.

Таблица 5.15

Водный баланс земель лиманного орошения

Объект	год	$O_c + O_p$, мм	E, мм	g, мм	Δh , м
Кисловский опытный участок	1972	647	390	-257	3,6
Лиманы Гурьевской, Уральской и Волгоградской областей	1964	370	219	-151	3,0
	1966	730	380	-350	3,5
	1969	400	180	-220	2,2

Обобщение данных по лиманному орошению показало, что регулирование водного и, связанного с ним, солевого режима земель лиманного орошения возможно только при достаточно большой исходной глубине залегания грунтовых вод. Кроме того, очень важным является проблема площадей и размещения отдельных участков. На основании выполненных исследований и анализа гидрогеологических и климатических показателей были сформулированы требования к размерам и размещению отдельных участков лиманного орошения. Таблица 5.16.

Таблица 5.16

Требования к площадям и размещению отдельных участков лиманного орошения

КТ*, м ² /сут.	Площадь участков, га	Испаряемость Е ₀ , мм	Δh/Н ₀ **	Расстояния между участками***
< 50- 100	≤ 100	1000-1200	≤ 0,4- 0,5	(3-5)В
100-200	100-250	1000-1200	≤ 0,4- 0,5	(3-5)В
200-500	250-300	1000-1200	≤ 0,4- 0,5	(3-5)В

*КТ – проводимость водоносного пласта; **Δh – подъем уровня грунтовых вод, м; Н₀ – исходный уровень грунтовых вод, м; ***В – ширина участка лиманного орошения, м.

Сопоставление площадей участков лиманного орошения и гидрогеологических условий опытного участка не укладываются в требования, приведенные в таблице 5.16 (Н₀ – 5-6 м, Δh – 2,2-3,6 м, площадь участка – 96 га). Поэтому, при орошении земель Кисловской оросительной системы не представляется возможным регулирование солевого режима почв.

Решение вопросов комплексного регулирования водно-солевого режима и почвенных процессов черноземных и каштановых почв требует составления долгосрочных прогнозов. Использовать для составления прогнозов уравнения водного и солевого балансов не возможно, так как изменение хотя бы одного из

элементов балансов приводит к изменению всех остальных элементов. Для оценки динамики водного и солевого режимов почв при орошении необходимо знать количественные связи влаго- и солепереноса с природными и хозяйственными условиями. Вместе с тем, использование сложных уравнений массопереноса в почвах, основанных на учете всего многообразия факторов, требует определения многочисленных параметров. Поэтому, для составления прогноза необходим учет наиболее существенных процессов и применение более простых моделей. Для расчета динамики водного режима почв целесообразно использовать достаточно простой метод [2, 27, 39, 40, 43, 44, 52, 56]. Прогнозный водный режим почв определяется из уравнения баланса и уравнения, связывающего процессы влагообмена между корнеобитаемым слоем, атмосферой и ниже лежащими горизонтами.

$$\bar{W}_2 = \bar{W}_1 + \frac{\Delta t}{r(m - W_0)(O_c + O_p - E - g)} \quad (5.8)$$

$$g = K_B W_{Cp}^{3,5}, \quad (5.9)$$

где: $\bar{W}_{1,2}$ - относительная влажность почвы в начале и в конце расчетного периода $\bar{W} = \frac{W - W_0}{m - W_0}$; m - пористость, в долях от объема; W_0 - максимальная

молекулярная влагоемкость, в долях от объема; W – влажность почвы, в долях от объема; l – мощность корнеобитаемого слоя, м; Δt – расчетный период, сут.; K_v – коэффициент влагопроводности при относительной влажности $\bar{W}_{ср}$.

Зависимость (5.9) для условий Приморского участка приведена в удобном для расчета виде [39].
Рисунок 5.11.

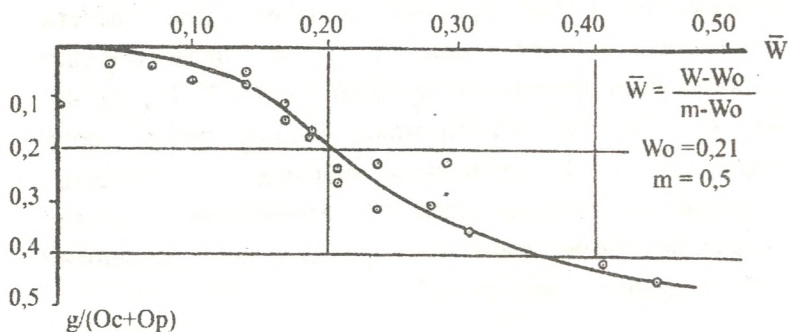


Рис. 5.11 Зависимость g от средней влажности почвы

Преимущества предлагаемого метода составления прогноза водного режима заключаются в простоте расчетов и минимальном количестве параметров, которые достаточно просто определяются в процессе исследования. Значения влажности

корнеобитаемого слоя могут быть заданы для любой сельскохозяйственной культуры. Величина суммарного испарения с достаточной точностью определяется в зависимости от биологических особенностей сельскохозяйственной культуры, температуры и влажности воздуха и суммарной водоподачи. Оценка возможности применения (5.8) и (5.9) для составления прогноза водного режима черноземов выполнена на основании наблюдений за режимом влажности на почвенных площадках. В расчетах использованы: $W_0 = 21$; $m = 0,5$; $r = 1\text{ м}$, а также данные по осадкам, оросительным нормам, испарению и величинам влагообмена, определенные для опытного участка в целом. Рис. 5.12.

Результаты расчетов показали, что расхождение расчетных и фактических данных по влажности корнеобитаемого слоя составляют в среднем 10-15 % [39].

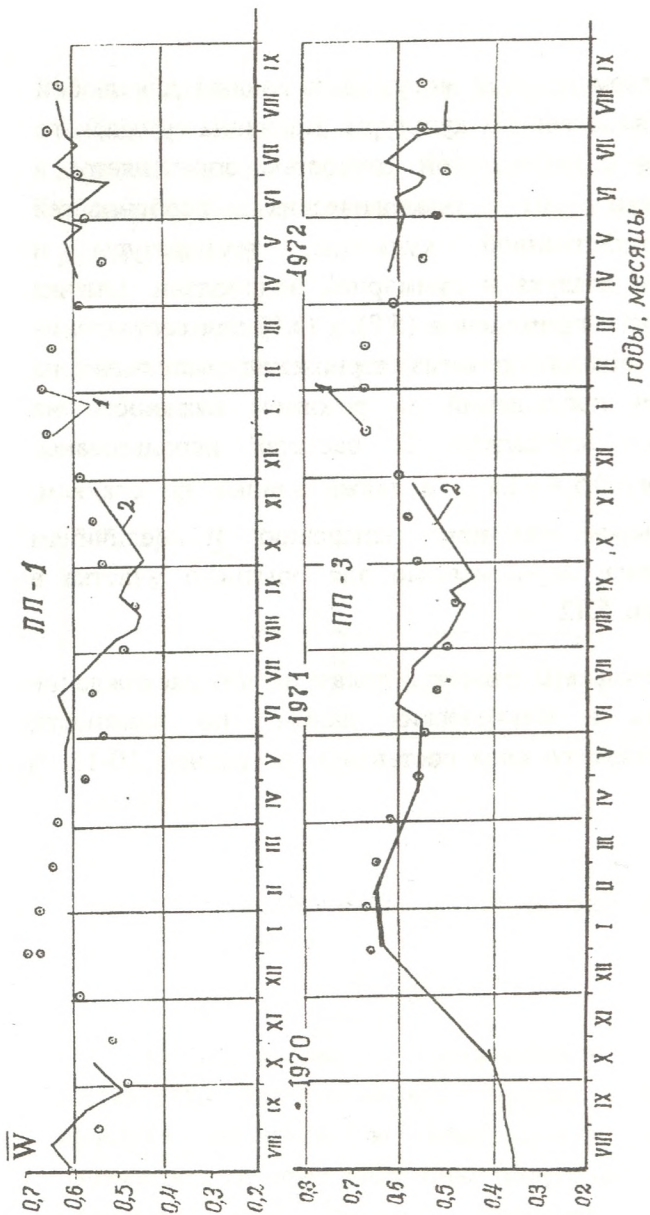


Рис. 5.12 Сопоставление расчетных (1) и натурных (2) данных по влажности корнеобитаемого слоя черноземов, в долях от объема.

5.3 Исследование солевого режима черноземных и каштановых почв

Исследование солевого баланса и солевого режима орошаемых черноземных и каштановых почв проводились на всех трех опытно-производственных участках. Кроме того, были использованы материалы исследований, проведенных другими авторами на территории Украины и Молдавии [11, 15, 24, 26, 32, 35, 38, 46, 48]. Наибольший интерес представляет исследование солевого режима черноземных почв, орошаемых в течение 3-5 и 25 лет.

Исходное содержание солей в почвах опытно-производственного участка Приморской оросительной системы по данным солевой съемки 1969 г. существенно различается по отдельным полям, в зависимости от водного режима. На участке без орошения почвы и грунты промыты от легко растворимых солей на глубину 2,5-3 м. В солевом составе преобладает бикарбонат кальция. Бикарбонат магния, сульфаты кальция, магния и натрия, а также хлориды магния и натрия содержатся в незначительных количествах. С глубины трех метров увеличивается содержание всех солей. Максимальное количество солей (0,65-0,72 %) характерно для слоя 3,5-6 м (первый погребенный почвенный горизонт).

Почвы регулярно орошаемого поля засолены на глубину 175-200 см. Характер солевых профилей свидетельствует о процессах засоления, которые

являются следствием орошения почв минерализованной водой. Степень засоления слабая. Содержание хлора в слое 0-30 см к концу вегетационного периода не превышает 0,038 %. Тип засоления сульфатно-хлоридный. Почвы нерегулярно орошаемого поля также засолены, но на меньшую глубину (до 1 м). Рисунки 5.13 и 5.14

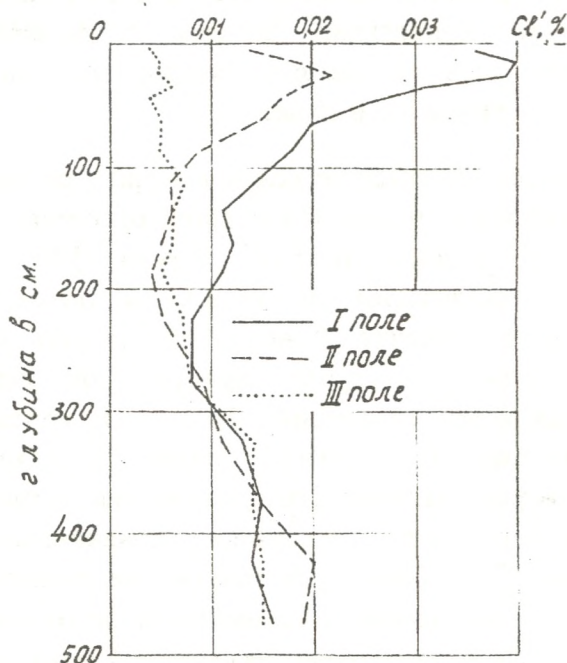


Рис. 5.13. Содержание хлора в профиле чернозема карбонатного по отдельным полям.

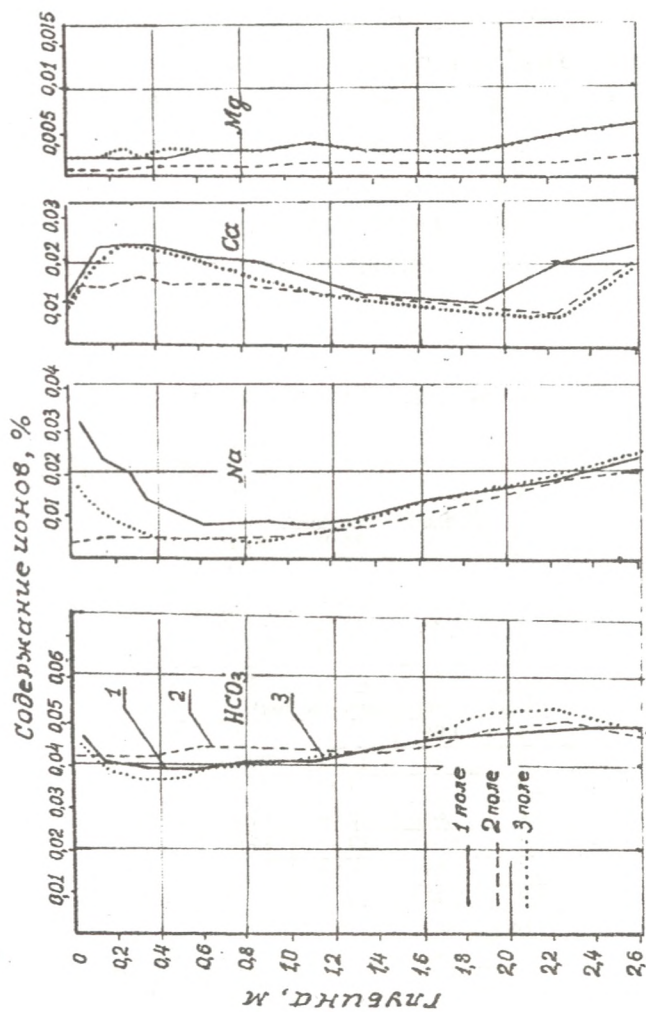


Рис. 5.14. Содержание отдельных ионов в профиле чернозема по полям. Солевая съемка - осень 1969 года.

Результаты определения поглощенных оснований показали, что почвы неорошаемого поля не солонцеваты. ППК на 69-92 % насыщен кальцием. Содержание натрия составляет 2,37-4,4 %. Сумма поглощенных оснований в слое 0-30 см составляет 26,6 мг-экв/100 г. На орошаемом поле содержание поглощенного натрия значительно выше, что говорит о развитии процесса осолонцевания почв. Таблица 5.17

Таблица 5.17

Состав поглощенных оснований

Глубина, см	Содержание ионов, мг-экв/100 г				Содержание ионов, %		
	Ca	Mg	Na+K	Сумма	Ca	Mg	Na+K
Неорошаемое поле							
0-10	21,0	2,0	1,6	24,06	87,28	8,31	4,40
10-20	22,0	8,0	0,87	31,87	69,03	28,24	2,73
20-30	18,0	5,0	0,82	23,82	75,57	20,99	3,44
30-40	22,0	1,0	0,81	21,81	92,40	4,20	3,40
40-50	21,0	5,0	0,63	26,63	78,86	18,78	2,37
50-75	20,0	5,0	0,62	25,62	78,06	19,52	2,42
Нерегулярно орошаемое поле							
0-10	15,0	2,5	1,85	19,35	77,50	12,90	9,6
10-20	13,0	2,0	1,32	16,32	79,60	12,20	8,1
20-30	14,0	2,0	1,32	17,32	80,80	13,50	7,6
30-40	15,0	2,0	1,44	18,44	81,30	10,80	7,8
40-50	15,8	2,5	1,06	19,31	81,60	12,90	5,5
50-75	15,0	3,5	0,85	19,35	77,50	18,10	4,4
75-100	15,5	1,8	0,90	18,15	85,40	9,60	5,0
Регулярно орошаемое поле							
0-10	18,7	6,8	3,88	29,38	63,6	23,1	13,1
10-20	20,4	3,4	3,08	26,88	75,9	12,6	11,4
20-30	19,6	5,95	2,40	27,90	70,1	21,3	8,6
30-40	20,4	2,98	2,49	25,87	78,8	11,5	9,6
40-50	22,6	4,68	1,93	29,16	77,3	16,0	6,6
50-75	21,7	5,95	1,31	28,96	74,9	20,5	4,5
75-100	21,7	11,48	1,04	34,22	63,4	33,5	5,0

Полученные результаты по содержанию солей в почвах Приморского опытного участка показали, что за период наблюдений (1969-1972гг.) использование для поливов минерализованных вод (0,46-4,58 г/л) хотя и способствовало накоплению солей, но практически не привело к засолению почв. Содержание солей в метровом слое увеличилось на орошаемом поле с 0,04 до 0,06 %, на нерегулярно орошаемом поле – с 0,03 до 0,04 %. Содержание хлора в метровом слое за этот же период возросло с 0,015 до 0,020 %. В соответствии с существующей классификацией земель по степени засоления почвы характеризуются как не засоленные [54]. На неорошаемом поле изменений солевого режима почв не отмечено. Рис. 5.15 и 5.16. Таблица 5.18

Таблица 5.18

Солевой баланс Приморского опытного участка

Период	G _{ор} , т/га	G _г , т/га	Запасы солей, т/га		ΔG, т/га
			G _{нач}	G _{кон}	
Орошаемое поле					
9.1969-9.1971	1,007	0,072	5,314	6,549	+ 1,235
9,1971-8.1972	0,910	0,072	6,549	7,527	+ 0,978
Всего	1,917	0,144	5,314	7,527	+ 2,213
Нерегулярно орошаемое поле					
9.1970-9.1971	1,016	0,072	4,110	5,178	+ 1,068

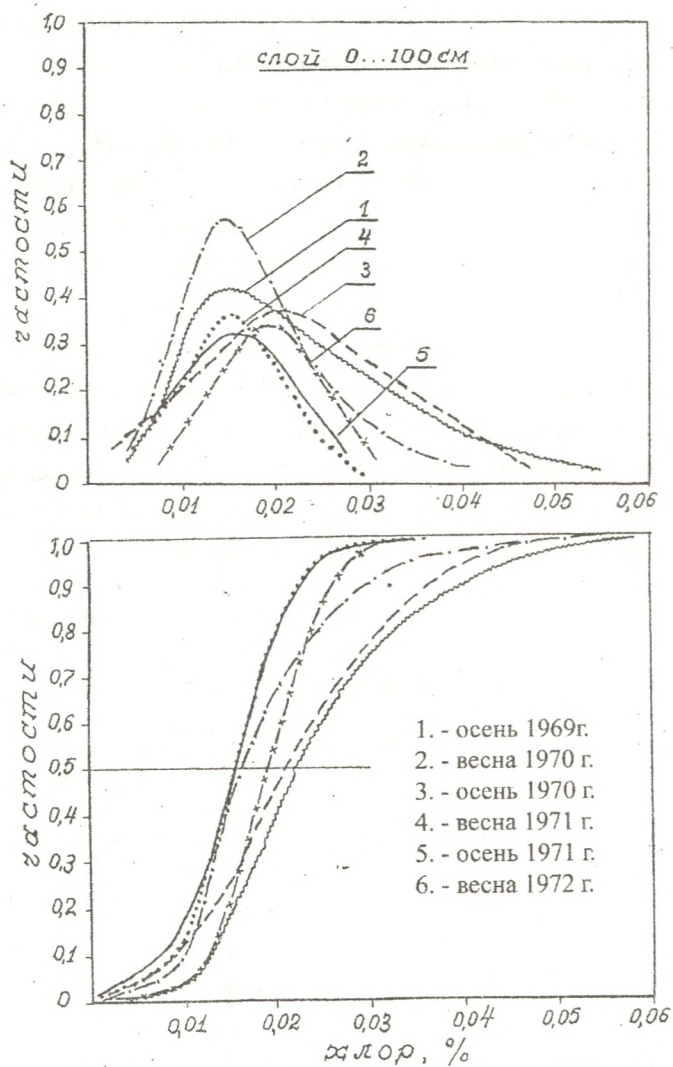


Рис.5.15. Изменение содержания хлора в почве, %. Поле 1

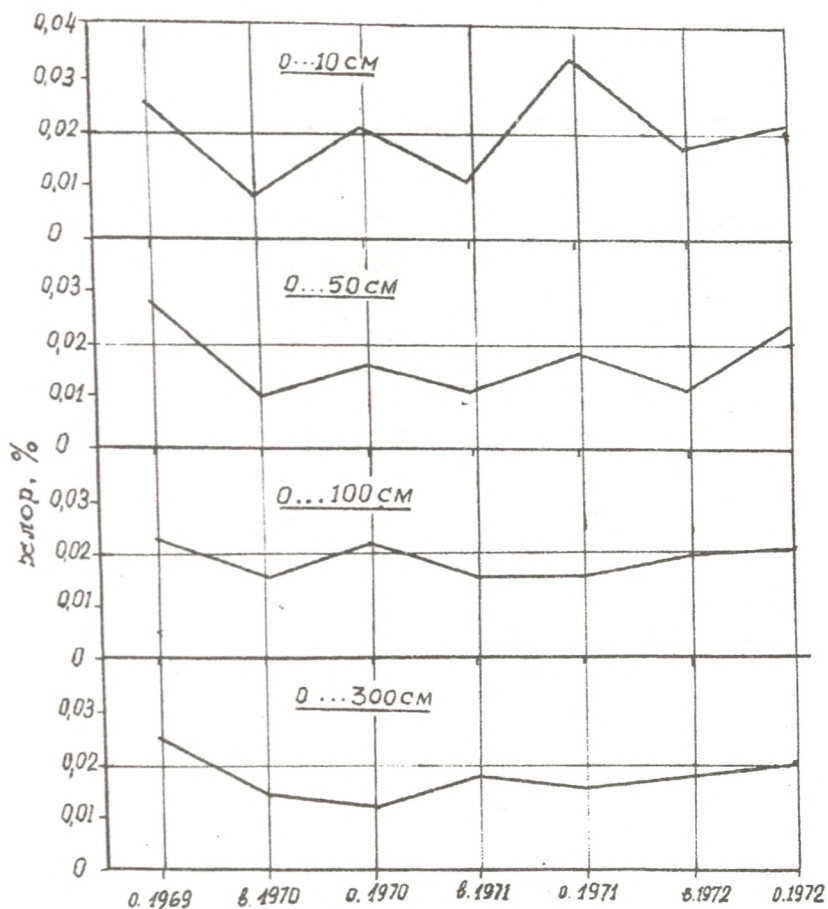


Рис. 5.16. Содержание хлора в почве по слоям, %. Поле 1. Солевые съёмки 1969...1972 гг.

Баланс солей опытных участков Кисловской и Азовской оросительных систем приведен в таблице 5.19.

Таблица 5.19

**Баланс солей Кисловского и Азовского опытных
участков, т/га**

Период	$G_{ор}$	$G_{д}$	$G_{нач}$	$G_{кон}$	ΔG_p	ΔG_f
Кисловский опытный участок						
1967-1972	36	18	120	138	+ 18	+ 13
Азовский опытный участок						
1970-1971	9,2	6,6	2,5	5,1	+ 2,6	+ 2,34
Азовская оросительная система [15]						
1952-1977	135	132	1	4	+ 3,0	+ 2,5

Аналогичные результаты были получены при орошении черноземов Молдавии и Украины водами с минерализацией 0,25-2,4 г/л [24, 25, 26, 31, 32, 38, 46, 48, 66]. Таблица 5.20.

Таблица 5.20

**Орошение черноземов водами различной
минерализации.**

Почва	O_p , мм	Минерализация оросительной воды, г/л	\bar{R}
Черноземы южные	140	0,3-0,6	1,0
Черноземы южные	400	0,5-0,6	1,2
Черноземы обыкновенные	90	0,25	0,95
Черноземы типичные	172	0,52	1,0
Черноземы обыкновенные	150	0,52	0,87
Черноземы карбонатные	150	0,83	1,30
Черноземы обыкновенные	425	1,83	1,38
Черноземы карбонатные	425	1,83	1,18
Черноземы обыкновенные	350	2,4	1,56

Полученные данные дают основание говорить о том, что изменение содержания солей в почвах не существенно и не является лимитирующим фактором. Конечное содержание солей не превышает 0,15-0,16 %. Это обстоятельство послужило основанием для широкого применения минерализованных вод при поливе черноземов на Северном Кавказе, в Украине и в Молдавии [55, 65, 70]. Последствия такого необоснованного решения оказались очень тяжелыми – десятки тысяч плодородных черноземных почв подверглись сильной деградации и выбыли из сельскохозяйственного оборота [24, 25, 26, 31, 38, 46, 48, 49, 59, 61, 66, 70 и др.].

Таким образом, для выяснения причин деградации почв степной и сухостепной зон при орошении, в том числе и минерализованными водами, нельзя ограничиваться только анализами изменения суммы солей. Необходим детальный анализ изменения химического состава почвенных растворов, ППК, свойств и плодородия почв.

Характерной особенностью солевого режима предкавказских черноземов, орошаемых водами Таганрогского залива, является накопление ионов хлора до 0,02 %. Стабилизация содержания хлора на этом уровне, несмотря на относительно высокую минерализацию оросительных вод, объясняется опресняющим действием атмосферных осадков. Прогрессирующего засоления черноземов при

соотношении $O_p/O_c \leq 0,2-0,3$ не происходит. При прекращении орошения наблюдается быстрое выщелачивание хлора из пахотного слоя за счет осенне-зимних осадков. Рис. 5.17.

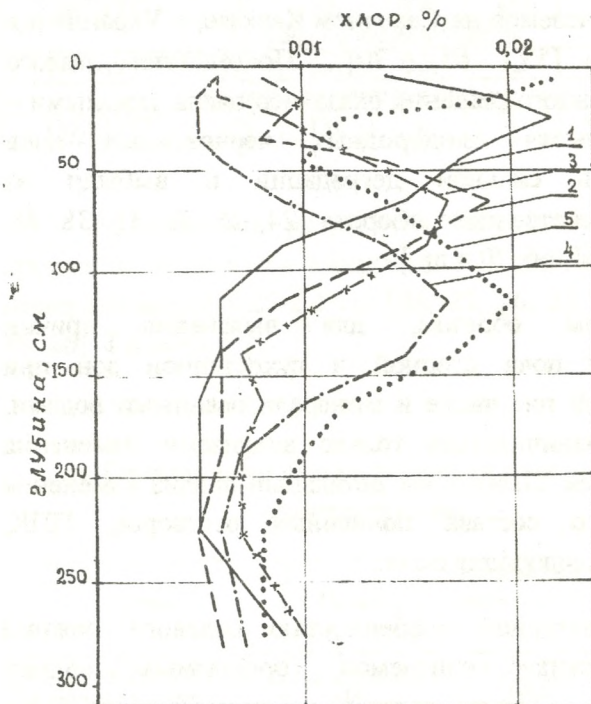


Рис.5.17. Изменение содержания хлора в % на поле 2:

- 1 - осень 1969 г. ; 2. весна 1970 г. ;
- 3 - осень 1970 г. ; 4 - весна 1971 г. ;
- 5 - осень 1971 г.

В динамике щелочности можно выделить две основные черты Рис. 5.18 и 5.19:

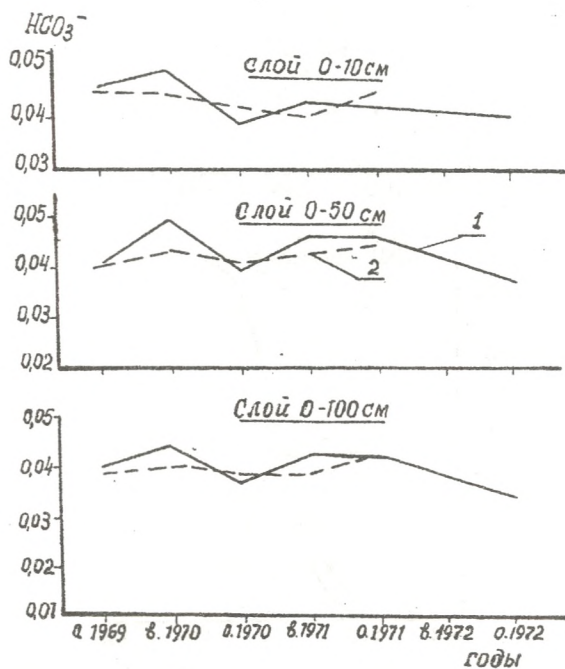


Рис. 5.18 Изменение содержания HCO_3^- в черноземе, %
1- поле 1; 2 - поле 2.

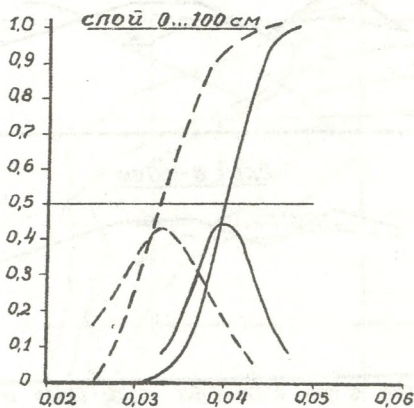
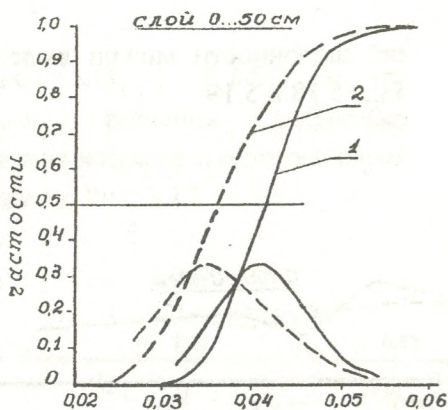


Рис. 5.19. Изменение содержания ионов HCO_3^- , % в черноземе.
1 - осень 1969 г.; 2 - осень 1972 г.

- повышение щелочности, которое, как правило, происходит при опреснении почв, и наоборот;

- относительное постоянство реакции почвенного раствора (рН). Рис. 5.20;

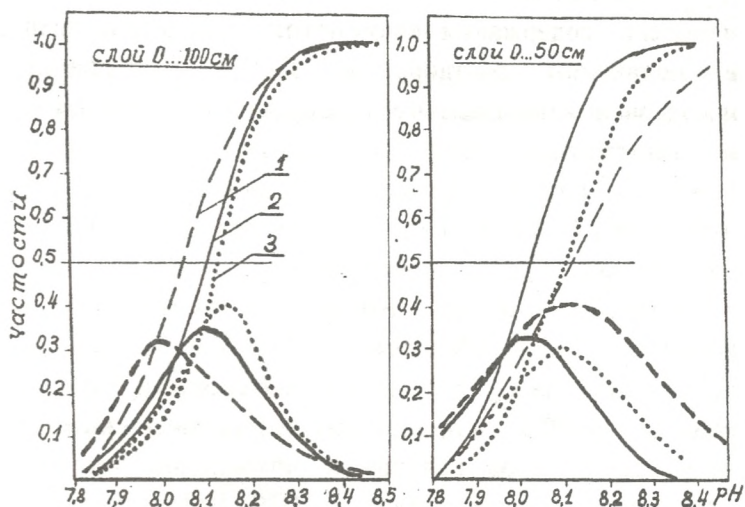


Рис. 5.20. Изменение величины рН в почве.

Поле 1. 1 - осень 1969г.; 2 - осень 1972 г.

Поле 3. 3 - осень 1969.г.

- наличие щелочности от нормальных карбонатов до 0,018 %.

Определяющим условием появления бикарбоната или карбоната натрия является не величина общей щелочности, а ее отношение к сумме катионов кальция и магния. Появление щелочности от нормальных карбонатов в глубоких горизонтах напрямую не связано с орошением, так как присуще и не орошаемым почвам. Образование соды в глубоких горизонтах возможно в результате ионного обмена натрия и кальция по реакции Гедройца.

Наибольший интерес представляет анализ изменения содержания ионов натрия, кальция и магния в почвенном растворе и ППК. Выполненные исследования показали, что при орошении черноземных и каштановых почв происходит закономерное изменение состава почвенных растворов и ППК. При отношении $O_p/O_c \leq 0,3$ и применении пресных вод для полива состав почвенных растворов и ППК относительно стабилен. Но даже в этом случае со временем в почве образуется дефицит ионов кальция. При отношении $O_p/O_c > 0,3$ и минерализации поливной воды больше 0,5 г/л происходит интенсивное снижение содержания ионов кальция и накопление натрия и магния в почвенном растворе и ППК. Дефицит кальция в почвах при различных пределах регулирования водного режима почв за ротацию достигает 10-20 т/га [39]. Таблица 5.21.

Таблица 5.21

Дефицит кальция в орошаемых черноземах.

Слой, см	Дефицит кальция при различной степени увлажнения почв, т/га			
	(0,6-0,7)ППВ	(0,6-0,85)ППВ	(0,7-0,8)ППВ	(0,8-0,9)ППВ
0-50	2,1	3,93	12,10	17,90
0-100	2,6	5,50	20,40	29,60

Все это сопровождается не только изменением состава почвенных растворов и ППК, но и ухудшением свойств, плодородия и продуктивности почв [4, 5, 7, 11, 29, 31, 39, 40, 43, 47, 48, 57, 69]. Таблица 5.22.

Таблица 5.22

Изменение состава почвенных растворов, ППК, свойств
и плодородия орошаемых черноземных и каштановых
почв

Показатели	Изменение показателей	
	Почвенный раствор	ППК
Приморская оросительная система, 1969-1972 гг. $O_p/O_c = 0,28$; минерализация оросительной воды 0,47-7,95 г/л		
Относительное изменение содержание ионов: Na	1,42	3,19
Ca	0,50	0,96
Mg	1,20	1,14
Изменение свойств и плодородия почв		
Плотность почв	1,11	
Пористость	0,93	
Коэффициент дисперсности	0,80	
Содержание гумуса	0,82	
Содержание $CaCO_3$	0,67	
Содержание азота	0,95	
pH	0,98	
Содержание P_2O_5	0,80	
Содержание K_2O	0,98	
Степень деградации почв	Средняя	
Продуктивность	0,80	
Азовская оросительная система, 1969-1972 гг. $O_p/O_c = 0,83$; минерализация оросительной воды – 1,00 г/л		
Относительное изменение содержания ионов: Na	3,31	3,87
Ca	0,77	0,78
Mg	1,54	2,20
Изменение свойств и плодородия почв		
Плотность	1,23	
Пористость	0,82	
Содержание гумуса	0,85	
Содержание $CaCO_3$	0,81	

Содержание азота	0,85	
pH	1,20	
Содержание P ₂ O ₅	0,60	
Содержание K ₂ O	0,50	
Степень деградации почв	Сильная	
Продуктивность	0,6-0,7	
Кисловская оросительная система, 1971-1975 гг. O _p /O _c = 1,54; минерализация оросительной воды 0,67 г/л		
Относительное изменение содержания ионов: Na	1,0	1,3
Ca	0,9	0,7
Mg	1,0	1,4
Изменение свойств и плодородия почв		
Плотность	1,3	
Пористость	0,79	
Сработка гумуса, т/га в год	0,6-0,8	
Состав гумуса, C _r /C _ф	0,8	
pH	1,4	
K _ф	0,54	
Содержание CaCO ₃	0,77	
Биоразнообразие	0,5	
Степень деградации почв	Очень сильная	
Продуктивность	0,4-0,5	
Республика Молдова, 1970-1985 гг. O _p /O _c = 0,18-0,28; минерализация оросительной воды -0,25-0,45 г/л		
Относительное изменение содержания ионов: Na	1,0	1,10
Ca	0,9	0,9
Mg	1,0	1,10
Изменение свойств и плодородия почв		
Плотность	1,10	
Пористость	0,92	
Содержание гумуса	0,80	
Состав гумуса, C _r /C _ф	0,96	
Содержание азота	0,90	
pH	1,10	
Содержание P ₂ O ₅	0,90	
Содержание K ₂ O	0,98	
Степень деградации почв	Слабая	

Продуктивность	0,95	
$O_p/O_c = 0,7-0,85$; минерализация оросительной воды	0,6-2,4 г/л	
Относительное изменение содержания ионов: Na	1,1-3,1	1,2-3,35
Ca	0,75-0,89	0,75-0,90
Mg	1,2-1,3	1,4-1,88
Изменение свойств и плодородия почв		
Плотность	1,2-1,4	
Пористость	0,83-0,90	
Содержание гумуса	0,57-0,9	
Состав гумуса, C_r/C_ϕ	0,75-0,80	
Содержание азота	0,70	
pH	1,2-1,4	
Содержание P_2O_5	0,70	
Содержание K_2O	0,80	
Степень деградации почв	Очень сильная	
Продуктивность	0,40	

Полученные данные позволяют сформулировать следующие выводы:

- при узких пределах регулирования водного режима почв (0,6-0,7 ППВ), то есть при малых оросительных нормах $O_p/O_c \leq 0,2-0,3$ и хорошем качестве поливной воды ($< 0,5$ г/л) орошение черноземов позволяет сохранить водно-физические, физико-химические свойства и плодородие почв;

- увеличение пределов регулирования водного режима и отношения $O_p/O_c > 0,4$, даже при применении для полива вод с минерализацией $< 0,5$ г/л, приводит к изменению состава почвенных растворов и ППК, ухудшению свойств и плодородия почв;

- при интенсивном орошении ($O_p/O_c > 0,7-0,8$), особенно при применении минерализованных вод для полива, происходит сильная и очень сильная деградация почв. Нейтрализация процессов деградации черноземов в этом случае практически невозможна. Получение относительно высоких урожаев в течение ряда лет, не является показателем благополучия.

Список литературы, использованной в главе 5

1. Sung-ho-Lai, Gurnac G. Cation exchange in miscible displacement in soil. – Proceedings of the Soil Science Society of America, 1975, Vol. 35.
2. Аверьянов С.Ф. О влагопроницаемости почвогрунтов при неполном их насыщении. М, Инж. Сб. Института механики АН СССР. 1950, т. 7.
3. Айдаров И.П. Регулирование водно-солевого и питательного режимов орошаемых земель. М, Агропромиздат, 1985.
4. Айдаров И.П., Корольков А.И. Особенности формирования солевого режима предкавказских черноземов при орошении. М, МГМИ, 1977.
5. Айдаров И.П., Корольков А.И., Королькова Т.П. Изменение предкавказских черноземов при орошении и методы их количественной оценки. В кн. Орошаемые почвы и методы их изучения. Ташкент, 1976.
6. Айдаров И.П., Корольков А.И., Хачатурян В.Х. Моделирование почвенно-мелиоративных процессов. Ж. Биологические науки. М, МГУ, 1987, № 9.

7. Айдаров И.П., Королькова Т.П., Корольков А.И. Использование вод повышенной минерализации в целях орошения предкавказских черноземов. Тр. МГМИ, 1974.
8. Айдаров И.П., Пестов Л.Ф., Клыков В.Е. Математическая модель динамики ионов натрия и кальция в почвах. Почвоведение 1978, № 8.
9. Айдаров И.П., Пестов Л.Ф. Мелиорация солонцов Ногайской степи. Бюл. Почвенного института им. В.В. Докучаева, М, 1977, вып. XV.
10. Айдаров И.П., Хачатурян В.Х. Исследование динамики водного и солевого режимов земель лиманного орошения. Тр. ВАСХНИЛ, 1973.
11. Андреев Г.И., Козлечков Г.А., Родионова Л.М. Влияние воды Веселовского водохранилища на предкавказские черноземы при орошении. В кн. Орошение и мелиорация почв. М, Наука, 1977.
12. Антипов-Каратаев И.Н., Антипова-Каратаева Т.Ф. Закономерности катионного обмена в почвах и растворах смесей нейтральных солей. Коллоидный журнал, 1939, т.5, вып. 5.
13. Антипов-Каратаев И.Н., Филиппова В.Н. Влияние длительного орошения на почвы. М, АН СССР, 1955.

14. Бараев А.И. Почвозащитное земледелие. М, Колос, 1975.
15. Баскаченко И.Н. Использование природных минерализованных вод в сельском хозяйстве. М, Колос, 1975.
16. Биогеоценоотические основы освоения полупустыни Северного Прикаспия. М, Наука, 1974.
17. Биологическая продуктивность и круговорот химических элементов в растительных сообществах. Л, Наука, 1971.
18. Валяшко М.Г. Основы геохимии природных вод. в кн. Геохимия природных вод. М, МГУ, 1971.
19. Пашковский И.С., Сойфер А.М. Принципы постановки гидрогеологических исследований для обоснования мелиоративного дренажа. Материалы Межведомственного совещания по мелиоративной гидрогеологии и инженерной геологии. М, ВНИИГиМ, 1972, вып.2.
20. Волобуев В.Р. Введение в энергтику почвообразования. М, Наука, 1974.
21. Волобуев В.Р. Система почв мира. Баку, Элм, 1973.

22. Гапон Е.Н. Динамика ионного обмена. Ж. Прикладной химии, 1948, т. XXI, вып. 9.
23. Гедройц К.К. Избранные труды. М, Наука, 1975.
24. Гоголев И.Н., Позняк С.П. Мелиорация черноземов, орошаемых водами опресненных лиманов в условиях юго-запада Причерноморья. Инф. Листок Одесского межотраслевого ЦНТИ, вып 7, № 86-74, 1985.
25. Годовые отчеты по технической эксплуатации мелиоративных систем Вулканештского района за 1989-90 гг.
26. Годовые отчеты по технической эксплуатации мелиоративных систем Кагульского района за 1989-90 гг.
27. Голованов А.И., Новиков О.С. Математическая модель переноса влаги и растворов солей в почвогрунтах на орошаемых землях. Тр. МГМИ, 1974, т. XXXVI.
28. Зимовец Б.А. Повышение плодородия орошаемых земель Нижнего Повожья. М, Бюл. Почвенного института им. В.В. Докучаева, 1975, вып. IX.

29. Зубкова И.Д., Шумаков Б.А. Влияние орошения на мелиоративное состояние орошаемого массива Азовской оросительной системы при отсутствии автоматизированного закрытого дренажа. Тр. НИМИ, Новочеркасск, 1976.
30. Исследование водного и солевого режимов искусственного лиманного орошения на Кисловской оросительной системе. М, НИС МГМИ, 1973. Рукопись.
31. Исследование и разработка состава и соотношения мелиораций на черноземах юго-западной части Молдовы. № 54, ВС-92, Деп. М, 1992.
32. Исследовать и разработать состав и соотношение мелиораций в зоне воздействия и обосновать их качественный уровень. М, НИС МГМИ, 1991. Рукопись.
33. Корольков А.И. Королькова Т.П. Методика составления прогноза солевого режима и динамики поглощенных оснований и обоснование мероприятий по предупреждению засоления и осолонцевания орошаемых земель. М, 1976.
34. Кац Д.М. Контроль режима грунтовых вод на орошаемых землях. М, Колос, 1967.

35. Кац Д.М., Шестаков В.М. Мелиоративная гидрогеология. М, МГУ, 1972.
36. Кистанов Н.С. Процессы засоления-рассоления и осолонцевания почв лиманного орошения. Тр. ВолжНИИГиМ, т. III, ч 3. Саратов, 1970.
37. Ковда В.А. Основы учения о почвах. М, Наука, т. 1-2, 1973.
38. Концепция развития водных мелиораций в Украинской ССР, ВАСХНИЛ, Южное отделение. Киев, 1990.
39. Корольков А.И. Влияние орошения на водно-солевой режим и почвенные процессы предкавказских черноземов.. Канд. Дис. М, 1986.
40. Корольков А.И. Водно-солевой режим орошаемых земель Приморской системы. Вестник сельскохозяйственной науки №12, 1973.
41. Корольков А.И. Проблемы мелиорации черноземов. Земледелие, № 9, 1991.
42. Корольков А.И. Проектный урожай должен стать реальностью. Ж. Степные просторы, 1987, № 9.
43. Корольков А.И. Орошение черноземов. Гидротехника и мелиорация, № 12, 1984.

44. Корольков А.И. Прогноз водного, гидрохимического и биологического режимов почв степной зоны. Тезисы докладов Совещания «Влияние гидрологического режима на структуру и функционирование биогеоценозов. Сыктывкар, 1987.
45. Корольков А.И., Королькова Т.П. Показатели и критерии мелиоративного состояния орошаемых черноземов. Тезисы докладов Всесоюзного совещания по методам надзора за мелиоративным состоянием орошаемых земель. Ашхабад, 1987.
46. Корольков А.И., Унгуриану Ф.В. Оценка качества воды при орошении карбонатных черноземов Молдавии. Тр. Почвенного института им. В.В. Докучаева. М, 1980.
47. Королькова Т.П. Разработка и составление прогноза солевого режима и динамики поглощенных оснований орошаемых земель Златополинского массива Алтайского края. М, НИС МГМИ, 1979. Рукопись.
48. Крупенников И.А., Подымов Б.П., Скрябина Э.Е. Влияние орошения щелочной водой на состав и свойства черноземов. Бюл. Почвенного института им. В.В. Докучаева, М, 1977.

49. Методические указания по составлению схем охраны малых рек. М, 1984.
50. Никольский Б.П. Обменная адсорбция катионов в почвах. Почвоведение, 1934, № 2.
51. Никольский Б.П., Парамонова В.Н. Законы обмена ионов между твердой фазой и раствором. Успехи химии, 1939, вып. 10, т. 6.
52. Никольский Ю.Н. Расчеты оросительных норм при увлажнении путем дождевания осушенных земель грунтового питания. Тр. МГМИ, 1976 т. 40.
53. Обоснование мелиоративных режимов черноземов при орошении. М, НИС МГМИ, 1985. Рукопись.
54. Базилевич Н.И. , Панкова Е.И.. Методические указания по учету засоленных почв. М. Почвенный институт им. В.В.Докучаева 1964.
55. Парфенова Н.И. Методика анализа гидрохимического режима грунтовых вод в связи с его прогнозом при орошении. М, ВСЕГИНГЕО, 1971.

56. Пашковский И.С., Чулаевский В.Б. К оценке инфильтрационного питания в условиях работы дренажа. – В сб. «Вопросы проектирования мелиоративных и водохозяйственных объектов с использованием подземных дренажных вод». Сб. научных трудов ВО «Союзводпроект». № 53. М., 1980.
57. Прогноз солевого режима земель на территории Приморской оросительной системы. М, НИС МГМИ, 1971-72гг. Рукопись.
58. Прогноз солевого режима земель на территории Приморской оросительной системы Ростовской области. М, НИС МГМИ, 1975. Рукопись.
59. Проект канала Ростов-Краснодар. Ростов-на-Дону. Южгипроводхоз, 1975.
60. Разработать способы измерений, расчета и регулирования водного и солевого режимов искусственных лиманов в зоне Западного Казахстана. М, МГМИ, Проблемная лаборатория, 1975. Рукопись.
61. Рекомендации по возделыванию кукурузы на орошаемых землях Европейской части СССР. М, Колос, 1965.
62. Рекс Л.М. Прогноз переноса солей. Гидротехника и мелиорация, 1972, № 10.

63. Ресурсы биосферы на территории СССР. М, Наука, 1971.
64. Рыжова Л.В. Количественные закономерности обменной адсорбции катионов Na-Ca и Na-Sr на черноземах, монтмориллоните и гидробионте. Почвоведение, 1973, № 3.
65. СНиП 2.06.03-86 Мелиоративные системы и сооружения. М, 1986.
66. Техничко-экономический доклад (ТЭД) «Орошение междуречья Прут-Кагул-Салача. Кишинев, Молдгипроводхоз, 1988.
67. Шумаков Б.А., Шумаков Б.Б. Лиманное орошение. М, МСХ СССР, 1963.
68. Шумаков Б.Б. Лиманное орошение. Автореферат докторской диссертации. М, МГМИ, 1971.
69. Экологические требования к орошению почв России (Рекомендации). М, Почвенный институт им. В.В. Докучаева – МГУП, 1996.
70. Эталон технико-экономического обоснования строительства оросительных систем, сооружаемых за границей при техническом содействии СССР, М, 1977.

Глава 6

6.1 Принципы обоснования системы мелиоративных мероприятий при орошении земель в различных природных зонах

В основу разработки основных принципов обоснования мероприятий по комплексному регулированию компонентов орошаемых земель (приземный слой атмосферы, почвы, сельскохозяйственные растения, поверхностные и подземные воды) положены результаты теоретических и опытно-производственных исследований, выполненных кафедрой сельскохозяйственных мелиораций Московского гидромелиоративного института под руководством академика С.Ф.Аверьянова. Комплексный подход к мелиорации земель в зоне недостаточного увлажнения отличается от традиционного, при котором в качестве объекта регулирования рассматриваются сельскохозяйственные растения и почвы. Требования к регулированию водного, солевого и других режимов рассматривались только с точки зрения сельскохозяйственных растений. Таким образом, объектом мелиорации были не природные условия (как это трактовалось), а только почвы. Средством регулирования в этом случае был водный режим. При этом почва рассматривалась как отдельное природное образование, а не как компонент единой природной системы, тесно связанный со всеми другими компонентами и средообразующими факторами [14, 16,

19, 26, 27, 28, 30, 32, 34, 35, 37, 39]. Между тем, почва, как важнейший компонент биосферы, является не только необходимым условием существования жизни на Земле но и средством производства и объектом приложения труда. Поэтому очень важно рассматривать две функции почв, которые они выполняют в агроландшафтах – экологическую и социально-экономическую [36]. Экологические функции почв определяются их природным (естественным) плодородием, то есть наличием запасов гумуса, которые определяют водно-физические и физико-химические свойства и делают почву мощным биогеохимическим барьером, регулирующим биологический и геологический круговороты. Социально-экономические функции почв определяются экономическим плодородием (продуктивностью), которое зависит не только от природных, но и от хозяйственных факторов.

В настоящее время при обосновании системы мелиоративных мероприятий на это не обращают должного внимания и говорят о плодородии вообще, подразумевая под этим повышение урожайности, то есть экономическое плодородие.

Водный режим почв является одним из основных лимитирующих факторов, как с точки зрения изменчивости, так и влияния на другие, не менее важные, факторы жизни растений. Для большинства сельскохозяйственных культур водный потенциал (сосущая сила) не превышает 0,5-1 МПа, в связи с чем,

влажность почвы, при которой ее потенциал соответствует этим значениям, принята за нижний предел регулирования водного режима. Поэтому наиболее благоприятные условия влагообеспеченности сельскохозяйственных растений отмечаются при влажности почвы, соответствующей водоудерживающей силе $\leq 0,5$ МПа. В соответствии с этим предел регулирования водного режима почв для основных сельскохозяйственных культур принимают обычно 0,7-0,9 от ППВ.

Вместе с тем, выполненные исследования показали, что такой широкий диапазон колебания влажности почвы приводит к изменению химического состава почвенного раствора, ППК, а также свойств и плодородия почв. Изменения эти различны в зависимости от типа почв, емкости катионного обмена и состава солей.

Расчеты показывают, что диапазон изменения влажности почв при орошении уменьшается от пустынной зоны к степной. Все это дает представление об особенностях регулирования водного режима почв в различных природных зонах и позволяет подойти к обоснованию техники и технологии мелиорации земель.

Анализ влияния различных солей на рост, развитие растений и свойства почвы выявил основные особенности регулирования солевого режима для различных природных условий. Оптимальная концентрация легкорастворимых солей в почвенных

растворах орошаемых земель колеблется в широких пределах (до 3-5 г/л). Увеличение концентрации до 7-10 г/л во всех случаях оказывает токсичное воздействие на растения, сопровождается развитием процессов осолонцевания и ухудшения водно-физических свойств и плодородия почв в сухостепной и степной зонах. Уменьшение концентрации почвенных растворов в результате применения интенсивного промывного режима приводит к потере обменных оснований, увеличению кислотности и вымыванию элементов зольного питания растений и снижению плодородия почв.

Имеющийся опыт показал, что существующие нормативы водопотребления и подходы к его обоснованию не отвечают современным требованиям. Нормы водопотребления существенно завышены, что приводит к излишней промываемости, обеднению почв гумусом и элементами минерального питания, подтоплению территорий, засолению и осолонцеванию почв. В связи с этим, фактическая урожайность сельскохозяйственных культур на орошаемых землях, как правило, ниже проектной [11, 14, 28, 32, 37]. Кроме этого, завышение водопотребления влияет на режим, объем и загрязнение водных ресурсов, требует интенсивного дренирования и утилизации больших объемов минерализованных дренажных вод.

В основу разработки нормативов водопотребления и методов регулирования водного

режима орошаемых земель должны быть положены требования законодательства РФ в области земельных, водных отношений и охраны окружающей среды, а также результаты многолетних теоретических и опытно-производственных исследований, проведенных кафедрой в различных природных зонах страны.

Разработанные рекомендации не сразу нашли применение в виду их существенного отличия от существовавших представлений. Основные принципы обоснования системы мероприятий по комплексному регулированию водного, солевого, пищевого и других режимов орошаемых земель вошли в Ведомственные строительные нормы, справочники по орошению и учебные пособия только после 1985 г [11, 16, 30, 33].

6.2 Основные принципы обоснования мелиоративных мероприятий

1. Основной целью комплексного регулирования является обеспечение функционирования природных систем и прежде всего сохранение (улучшение) свойств и плодородия почв как важнейшего компонента, а не получение максимальных урожаев сельскохозяйственных культур. Это обусловлено тем, что требования почв как компонента природной среды и основы сельскохозяйственного производства не совпадают с требованиями получения максимальных урожаев. Таким образом, при орошении земель основными являются требования сохранения экологических функций почвы.

2. Пределы регулирования водного и солевого режимов орошаемых земель, обеспечивающие сохранение (улучшение) свойств и плодородия почв основных природных зон приведены в таблице 6.1.

Таблица 6.1

Пределы регулирования водного и солевого режимов орошаемых земель

Почва	ППК, мг-экв/100 г	Влажность почв, % от ППВ	Влагообмен, % от суммы $O_p + O_c$	Состав ППК, %		рН
				Na	Mg	
Черноземные	40	0,6-0,7	$\leq 0,05$	2-3	10-15	7-7,3
-«-	30	0,6-0,7	$\leq 0,05$	2-3	10-15	7-7,3
-«-	20	0,65-0,7	0,05-0,07	2-5	10-15	7-7,5
Лугово-черноземные	30	0,6-0,7	$\leq 0,05$	2-5	10-15	7-7,3
Темно-каштановые	30-35	0,6-0,7	$\leq 0,05$	2-3	10-15	7-7,3
Каштановые	20	0,65-0,8	$\leq 0,10$	3-6	15-20	7-7,5
Светло-каштановые	15	0,65-0,8	$\leq 0,10$	5-10	15-20	7,5-8
Сероземные	≤ 15	0,7-0,8	$\leq 0,15$	5-10	≤ 20	8-8,4

3. Существующие методы определения величин оросительных норм основаны на учете биологических особенностей сельскохозяйственных растений и ресурсов естественного увлажнения. При определении оросительных норм в качестве расчетного принимается

год 75 % обеспеченности по дефициту водного баланса [14, 16, 19, 30, 34, 35, 37]. Такой подход не учитывает требования почв к пределам регулирования водного режима и приводит к существенному завышению оросительных норм и, как следствие, к ухудшению свойств и плодородия орошаемых почв.

4. Обоснование режима орошения и величин оросительных норм должно производиться на основании составления долгосрочного (продолжительностью не менее 1-2 ротаций сельскохозяйственных культур в севообороте) прогноза водного режима в корнеобитаемом слое почв. Для составления прогноза в автоморфных условиях можно использовать наиболее простые модели, основанные на анализе уравнений баланса почвенной влаги и влагообмена между корнеобитаемым слоем почвы и нижележащими горизонтами [12, 22, 23, 24]. (См. уравнения 5.9 и 5.10). Для гидроморфных условий модели, описывающие динамику водного режима почв, дополняются уравнением баланса грунтовых вод [17, 23]. В таблице 6.2 приведен пример составления прогноза водного режима и определения оросительных норм для предкавказских черноземов [22]. Расчеты выполнены для 9-польного зерново-кормового севооборота со следующим составом культур: озимая пшеница, зернобобовые, кукуруза на зерно, ячмень с подсевом трав, люцерна второго и третьего годов. Рассмотрим 4 варианта водного режима почв, в долях от ППВ: влажность корнеобитаемого слоя – 0,6-0,7;

0,6-0,85; 0,7-0,8 и 0,8-0,9. Во всех вариантах для озимой пшеницы, при необходимости, предусматривался осенний предпосевной полив. Расчеты выполнены для 9 реальных лет с использованием выражений 5.9 и 5.10 и материалов опытно-производственных исследований. Величины водопотребления рассчитаны для каждой культуры. Значения O_p и g определялись подбором. Таблица 6.2.

Таблица 6.2.

Прогноз водного режима предкавказских черноземов

Показатели	1965	1966	1967	1968	1969	1970	1971	1972	1973	Средн.
Атмосферные осадки, м ³ /га За год	5520	1746	4437	3689	4145	4520	4045	3922	6477	4278
За вегетацию	2042	1028	1246	264	1460	2003	1784	2399	3957	1798
Обеспеченность осадков, %	15	98	53	70	59	45	64	65	2	52
0,6-0,7 от ПШВ										
Оросительная норма, м ³ /га	950	3200	2150	2700	2000	2000	2400	2000	400	1978
Влагообмен за год, м ³ /га	806	214	295	288	196	277	210	240	477	334
За вегетацию	293	185	135	96	196	186	210	240	328	208
0,7-0,8 от ПШВ										
Оросительная норма, м ³ /га	2000	4500	2870	4000	3500	3250	4500	3350	1850	3313
Влагообмен за год, м ³ /га	1511	1533	1005	1141	3396	1455	1718	1346	2024	1681
За вегетацию	787	1344	769	651	1488	1255	1658	1261	1642	1206
0,8-0,9 от ПШВ										
Оросительная норма, м ³ /га	4300	6930	6470	5590	4480	5110				
Влагообмен за год, м ³ /га	3120	3346	2855	2438	3679	3566				
За вегетацию	1830	3284	1773	1093	2938	2738				
0,6-0,85 от ПШВ										
Оросительная норма, м ³ /га	2400	4800	3010	3600	2400	2400				
Влагообмен за год, м ³ /га	1859	1243	671	1208	704	1450				
За вегетацию	778	1185	652	497	650	1337				

Полученные данные показывают, что величины O_p и g существенно зависят от средней влажности корнеобитаемого слоя и естественного увлажнения. Величины оросительных норм в среднем за период ротации изменяются от 1978 м³/га при влажности 0,6-0,7 от ППВ до 5228 м³/га при влажности 0,8-0,9 от ППВ. По отдельным годам оросительная норма меняется в 2-8 раз, в зависимости от вида сельскохозяйственных культур и интенсивности естественного увлажнения. Величина влагообмена между корнеобитаемым слоем почвы и нижележащими горизонтами изменяется от 5 до 34 % от суммы $O_p + O_c$, то есть возрастает почти в 7 раз.

5. Прогноз солевого режима орошаемых земель составляется с целью оценки не только содержания солей в почвенном растворе, но и для оценки состава ППК, изменения свойств, плодородия и продуктивности почв и выбора расчетных (проектных) значений оросительных норм. Основой для составления прогноза солевого режима являются результаты прогноза водного режима. Оценка солевого режима почв пустынной зоны производится по содержанию ионов хлора и плотного остатка в соответствии с существующей классификацией земель по степени засоления[31]. Для почв сухостепной и степной зон использование указанной классификации неприемлемо. Оценка солевого режима в этом случае производится по содержанию ионов хлора, а также ионов натрия, кальция и магния в почвенном растворе и ППК, и по

величине рН, то есть по компонентам, которые определяют не только свойства почв, но и доступность элементов минерального питания. Для составления прогноза солевого режима орошаемых почв пустынной зоны используется модель, учитывающая перенос несорбирующихся ионов хлора, а для почв степной и сухостепной зон модели переноса Cl и трех ионов - Na, Ca и Mg.

В таблице 6.3 приведен пример расчета прогноза солевого режима орошаемых черноземных почв [22]. Исходное содержание солей в почвах: Cl – 0,03, Na – 0,06, Ca – 0,73, Mg – 0,07 мг-экв/100 г. ППК – 30 мг-экв/100 г. Содержание ионов в оросительной воде: Cl – 0,08, Na – 0,25, Ca – 0,17, Mg – 0,08 мг-экв/100 г.

Таблица 6.3

Изменение солевого режима черноземов при орошении,
мг-экв/100 г

Вариант водного режима почв	Содержание ионов в растворе				Состав ППК		
	Cl	Na	Ca	Mg	Na	Ca	Mg
Исходное содержание ионов	0,03*	0,06	0,73	0,07	0,10	27,0	2,9
	0,03	0,06	0,73	0,07	0,10	27,0	2,9
0,6-0,7 от ППК	0,06	0,10	0,54	0,07	0,23	26,7	3,07
	0,04	0,08	0,61	0,07	0,17	26,81	3,02
0,6-0,85 от ППК	0,05	0,16	0,39	0,07	0,41	26,42	3,17
	0,06	0,12	0,43	0,07	0,30	26,64	3,06
0,7-0,8 от ППК	0,07	0,22	0,34	0,07	0,50	24,50	5,00
	0,06	0,21	0,38	0,07	0,45	24,90	4,65
0,8-0,9 от ППК	0,07	0,25	0,26	0,07	0,64	23,14	6,22
	0,07	0,23	0,31	0,07	0,55	23,87	5,58

*В числителе содержание солей в слое 0-0,5 м, в знаменателе – 0-1 м.

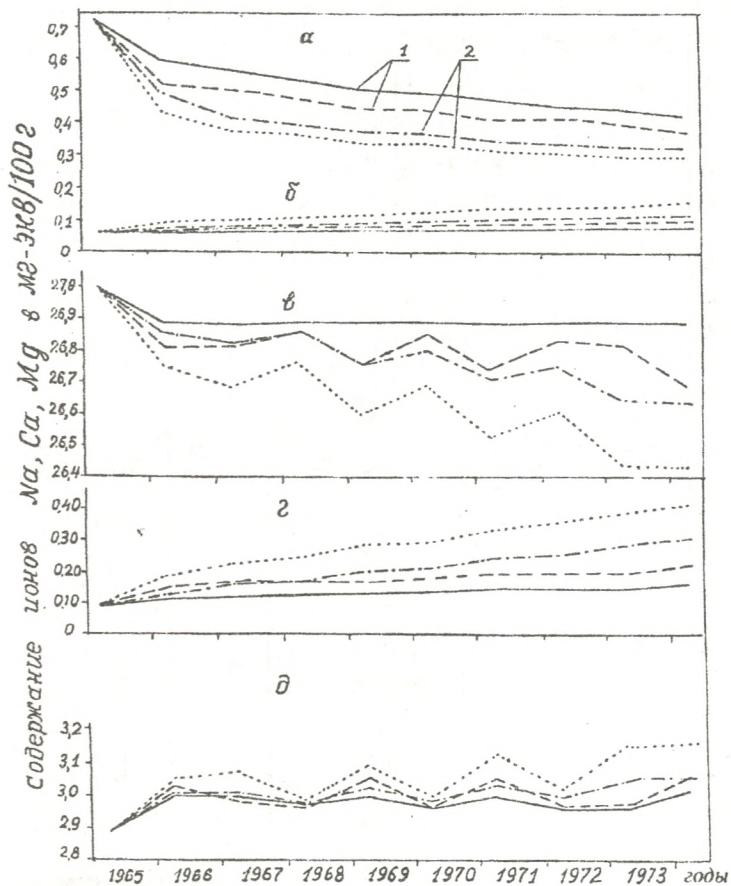


Рис.6.1. Динамика ионов Na, Ca, Mg в поровом растворе и ППК при орошении.
 а, б - ионы Ca и Na в поровом растворе;
 в, г, д - ионы Ca, Na и Mg в ППК
 1 - в слое 0...100 см; 2 - в слое 0...50 см.

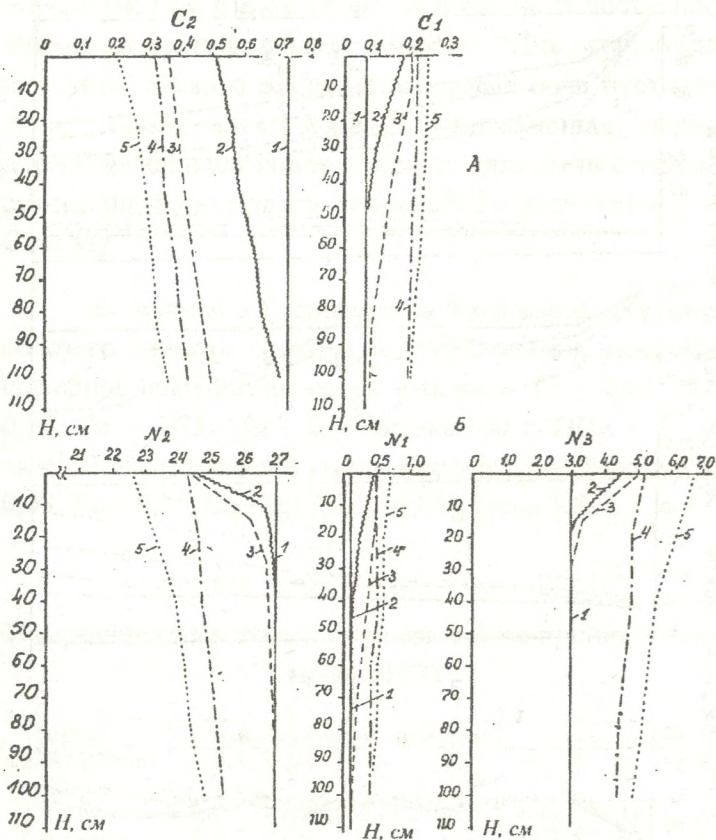


Рис 6.2. Распределение ионов Na, Ca, Mg в мг-экв/100г по профилю чернозема при орошении. А - в поровом растворе, Б - в ППК.
 1 - исходно; 2 - при орошении - $W=(0,6...0,7)$ ППВ;
 3 - $W=(0,6...0,85)$ ППВ; 4 - $W=(0,7...0,8)$ ППВ;
 5 - $W=(0,8...0,9)$ ППВ.

Необходимо отметить, что содержание суммы ионов в почвах по вариантам изменяется мало и не дает представления о развитии неблагоприятных почвенных процессов. Вместе с тем, очень важным является то, что в первые же годы происходит накопление натрия и магния и вымыв кальция. Поэтому рассчитывать на буферность черноземов нет основания. Основные изменения содержания ионов Na, Ca и Mg в растворе и ППК происходят при низких значениях влажности в основном в слое 20-30 см. При высокой влажности изменения охватывают слой от 0 до 100 см. Важной особенностью солевого режима черноземов является отрицательный баланс ионов кальция, что говорит о необходимости проведения химических мелиораций (внесение кальция) [22, 23, 24]. Таблица 6.4, рис. 6.1, 6.2.

Таблица 6.4

Дефицит кальция в орошаемых черноземах, т/га

Слой в см.	Варианты водного режима			
	0,6-0,7 от ППВ	0,6-0,85 от ППВ	0,7-0,8 от ППВ	0,8-0,9 от ППВ
0-50	2,10	3,93	12,10	17,90
0-100	2,60	5,50	20,40	29,60

6. Для выбора расчетного (проектного) режима орошения, кроме водного и солевого режимов, необходима оценка изменения свойств и плодородия почв.

6.1. Изменение рН почв в зависимости от содержания ионов натрия в ППК. Для почв пустынной зоны:

$$pH = 7,6 + 0,12\sqrt{Na} ; \quad (6.1)$$

для почв степной и сухостепной зон:

$$pH = 6,6 + 0,5\sqrt{Na} . \quad (6.2)$$

Здесь Na – содержание ионов натрия в ППК, %.

6.2. Изменение водно-физических свойств почв (плотность, пористость, коэффициент дисперсности и др.)

6.3. Оценка эффективности использования минеральных удобрений. Для количественной оценки эффективности использования азотных удобрений используются следующие выражения [1, 2, 11, 13]:

При внесении азота в почву только в аммонийной форме:

$$C_1(x) = C_{10} \exp(a_1^0 x) \quad (6.3)$$

$$C_2(x) = \frac{K_1}{K_1 - K_2} C_{10} [\exp(a_2^0 x) - \exp(a_1^0 x)] \quad (6.4)$$

При одновременном внесении азота в почву в аммонийной и нитратной формах:

$$C_2(x) = C_{20} \exp(a_2^0 x) + \frac{K_1}{K_1 - K_2} C_{10} [\exp(a_2^0 x) - \exp(a_1^0 x)] \quad (6.5)$$

$$a_i^0 = \frac{1}{2\lambda} \left(1 - \sqrt{1 + \frac{4k_i \lambda}{V}} \right), \quad (6.6)$$

где: C_1 и C_2 – азот в аммонийной и нитратной формах, мг/л; C_{10} и C_{20} – дозы внесения NH_4 и NO_3 , мг/л; λ – коэффициент гидродинамической дисперсии, м; V – скорость фильтрации, м/сут; x – глубина от поверхности земли, м; K_1 и K_2 – коэффициенты нитрификации и денитрификации, 1/сут.

Значения K_1 и K_2 для конкретных значений температуры, влажности и рН почвы приведены в работах [11, 13]. Влияние температуры, влажности и рН почвы показаны на рис. 6.3 и 6.4.

Потери нитратного азота оцениваются по выносу его за пределы корнеобитаемого слоя.

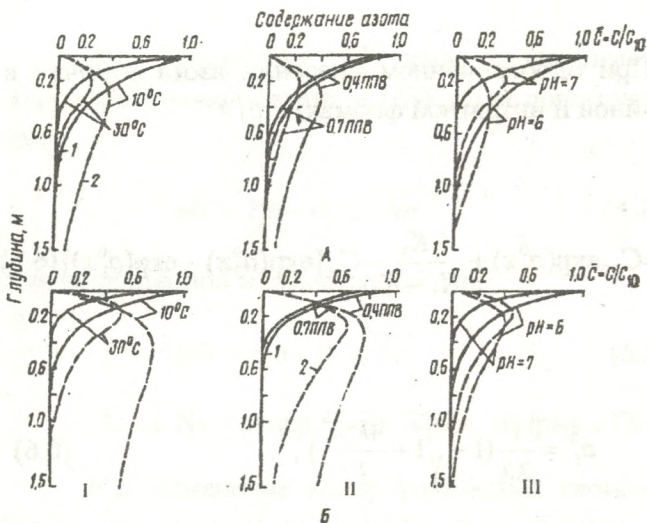


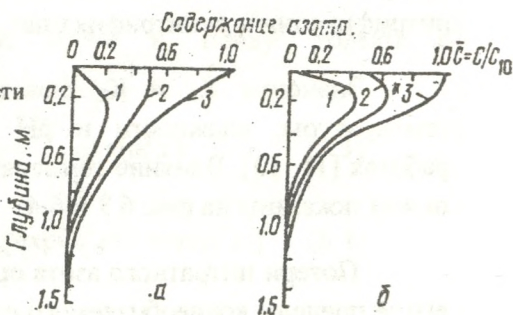
Рис.6.3 Влияние температуры, влажности и рН почвы на перераспределение азота:

А - черноземы; Б - сероземы; I - температура 10 и 30°C.

II - влажность 0,4 и 0,7 ППВ; III - рН - 6 и 7; I - ионы NH_4^+ ;

2 - ионы NO_3^- .

Рис 6.4 Изменение содержания ионов NO_3^- в почве в зависимости от соотношения $\text{NH}_4^+:\text{NO}_3^-$ при внесении удобрений: а - черноземы; б - сероземы; соотношение $\text{NH}_4^+:\text{NO}_3^-$: 1 - 1:0; 2 - 2:1; 3 - 1:1.



6.4. Для оценки содержания доступного фосфора в почвах можно использовать рН почвы или содержание натрия в ППК. Рис 6.5 и 6.6

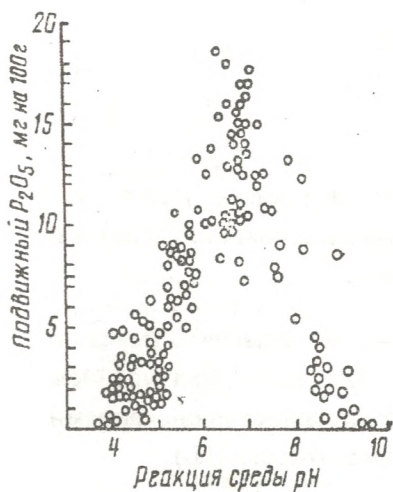


Рис. 6.5 Доступность фосфора растениям в зависимости от рН среды.

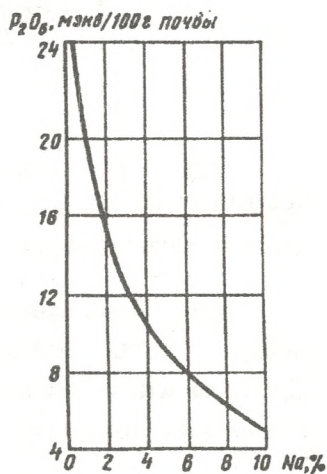


Рис. 6.6 Зависимость содержания доступного растениям фосфора от содержания Na в ППК, в % от суммы.

6.5. Содержание доступного растениям обменного калия определяется из выражения [11]:

$$K \cong 20 \frac{C_4}{\sqrt{C_2 + C_3}}, \quad (6.7)$$

где: K – содержание обменного калия, мг-экв/100 г; C_2 , C_3 и C_4 – содержание кальция, магния и калия в почвенном растворе, моль/л.

6.6. Изменение состава и запасов гумуса в почвах. Состав гумуса, определяемый соотношением C_r/C_ϕ , зависит от степени насыщенности основаниями и величины гидролитической кислотности (H_r).

$$C_r : C_\phi \approx 2,3 - 0,3 H_r, \quad (6.8)$$

где: C_r и C_ϕ – гуматный и фульватный гумус.

Изменение запасов гумуса в орошаемых почвах определяется с учетом прироста биомассы, растворимости и вымывания гумуса, в зависимости от содержания натрия и магния в ППК и интенсивности промывного режима [22]. Таблица 6.5.

Таблица 6.5

**Баланс гумуса в орошаемых черноземах
Приморской оросительной системы**

Показатели	Варианты водного режима, в долях от ППВ			
	0,6-0,7	0,6-0,85	0,7-0,8	0,8-0,9
Увеличение ежегодного прироста биомассы, т/га	2,8	4,3	4,6	3,4
Содержание ионов Na и Mg в ППК, %	11	12	18	25
Растворимость почвенного гумуса, г/л	1,3	1,4	2,0	2,8
Влагообмен, м ³ /га	334	1168	1681	3171
Вывос гумуса за ротацию, т/га	0,44	1,64	3,36	8,88
Ежегодное образование гумуса, т/га	0,28*	0,43	0,46	0,34
Баланс гумуса, т/га	- 0,13	- 1,21	- 3,14	- 8,50

*Образование гумуса рассчитано по величине сухого опада и коэффициента гумификации [15, 20].

Приведенные в таблице 6.5 данные подтверждаются имеющимися литературными материалами. Сработка запасов гумуса в пахотных черноземах Ростовской области составляют (в т/га в год): в 1967-71 гг. – 0,6; в 1972-85 гг. – 0,47 [20].

6.7. Изменение бонитета почв (почвенно-экологического индекса) оценивается с использованием формулы [21]:

$$ПЭИ = 12,5(2 - \gamma)n \frac{\sum T(KY - 0,05)}{KK + 10} K_0. \quad (6.9)$$

где: ПЭИ – почвенно-экологический индекс; γ – плотность метрового слоя почвы, т/м³; n – полезный (безбалластовый) объем почвы $n=1$; $\sum T$ – сумма активных температур воздуха, °С; КУ – коэффициент увлажнения; КК – коэффициент континентальности климата:

$$KK = \frac{360\Delta t}{\psi + 10}, \quad (6.10)$$

где Δt – разность между среднемесячной температурой самого теплого и самого холодного месяцев, °С; ψ – широта местности, градусы; K_0 – коэффициент, учитывающий изменение запасов гумуса, степень смывости почвы, степень гидроморфизма и степень солонцеватости.

Зависимость ПЭИ от водного (КУ) и солевого режимов, а также от влажности корнеобитаемого слоя (в % от природного) приведена в таблице 6.6.

Таблица 6.6

Пределы регулирования водного режима	Пустынная зона	Сухостепная зона	Степная зона
Естественные условия	100	100	100
0,6-0,7	400	136	90
0,6-0,85	700	155	78
0,7-0,8	1000	182	70
0,8-0,9	800	127	60

Из таблицы 6.6 видно, что увеличение степени увлажнения черноземов при орошении сопровождается снижением бонитета, в то время как в почвах сухостепной и пустынной зон бонитет почв сначала возрастает до влажности до 0,7-0,8 от ППВ, а при дальнейшем увеличении – снижается.

7. Урожайность сельскохозяйственных культур при орошении устанавливается в зависимости от водного, солевого, пищевого и других режимов почв в соответствии с рекомендациями, приведенными в работах [19, 30, 38].

8. Изыскания для обоснования проектов мелиорации земель должны включать анализ всех компонентов ландшафта, выявление причинно-следственных связей и роли рассматриваемого объекта в функционировании природной системы. Несоблюдение этих требований приводит к необоснованным выводам о целесообразности и очередности освоения объектов. Примером этого может служить орошение Шурузьякского, Джетысайского и Сардобинского понижений в бассейне Сырдарьи, которые в естественных условиях являлись зонами разгрузки геохимических потоков и активного соленакопления. Орошение этих массивов резко усилило процессы естественного соленакопления.

9. Промывки засоленных земель проводятся на фоне постоянного и временного дренажа. Наиболее эффективны промывки засоленных земель в зимнее

время отдельными тактами с дифференцированной подачей промывной воды по ширине междурений. Соотношение величин промывных норм в центре и на периферии междурений должно составлять 1,5:1 – 3:1. Промывки засоленных земель с одновременным посевом риса не целесообразны. Основная цель промывок заключается в рассолении метрового слоя почв, опреснение грунтовых вод в задачу промывок не входит. Расчет величин промывных норм нетто производится по формуле Аверьянова [5]:

$$N_H = (2A\sqrt{\lambda Vt} + h)m, \quad (6.11)$$

где: N_H – промывная норма нетто, м; A – коэффициент, зависящий от требуемой степени рассоления почв. Значение коэффициента A приводится в работах [5, 30]; λ – коэффициент гидродинамической дисперсии, м; V – скорость отвода промывных вод, м/сут.; t – продолжительность промывок, сут.; h – расчетная глубина рассоления почв ($h = 1$ м); m – активная пористость, в долях от объема.

Преимуществом формулы (6.11) является то, что кроме природных, она учитывает и организационно-хозяйственные факторы (скорость отвода промывных вод и время промывки).

На период промывок, в дополнение к постоянному дренажу, устраивается мелкий (0,8-1 м) временный дренаж, который рассчитывается на нагрузку $V_b = V - V_n$, где V_b – нагрузка на временный

дренаж, м/сут.; V – требуемая скорость отвода промывных вод, м/сут.; $V_{п}$ – скорость отвода промывных вод, создаваемая постоянным дренажем, м/сут.

Расчет расстояния между временными дренажами проводится по формуле Костякова [25].

10. При обосновании площадей и размещения участков лиманного орошения следует соблюдать следующие основные требования:

- требование к размерам и размещению участков лиманного орошения. Таблица 6.7.

Таблица 6.7

КТ, м ² /сут.	Площадь отдельных участков, га	h/H_0	Расстояние между отдельными участками, м
< 50-100	≤ 100	0,2-0,3	(3-5) В
100-200	100-250	0,3-0,4	(3-5) В
200-500	250-300	0,4-0,5	(3-5) В

- величина оросительной нормы $N \leq m (H_0 - h) / H_0$ м.
 Где: h – допустимый подъем уровня грунтовых вод (определяется по результатам прогноза солевого режима); H_0 – исходный уровень грунтовых вод, м; m – пористость, в долях от объема; B – ширина участка лиманного орошения; T – мощность отложений, м; K – коэффициент фильтрации, м/сут.;

- земли лиманного орошения целесообразно использовать под сенокосы и пастбища.

11. Обоснование дренажа орошаемых земель. Основное назначение дренажа, как составной части мелиоративной системы, заключается не только в регулировании водного и солевого режимов орошаемых земель, но и, что очень важно, в регулировании геохимического кругооборота, режима и качества речных вод. Дело в том, что дренаж отводит значительные объемы солей из глубоких горизонтов подстилающих пород и тем самым усиливает геологический круговорот. Таким образом, кроме его осушающей и рассоляющей роли, необходимо рассматривать еще и экологическую функцию. Осушающая роль дренажа – его способность поддерживать уровень грунтовых вод на определенной глубине в зависимости от техники и технологии орошения. Рассоляющая роль дренажа определяется объемом солей, отводимых из зоны аэрации. Экологическая функция дренажа состоит в регулировании геохимических потоков. Основными показателями экологических функций дренажа являются отношение G_p/G_d и объем отвода минерализованных дренажных вод в естественные понижения, то есть исключение солей из активного круговорота. Наглядным примером низкой экологичности дренажа является бассейн Аральского моря, где минерализованные дренажные воды сбрасываются в источники орошения и повторно

используются для полива. В бассейне реки Амударья повторно используется 40 %, а в бассейне Сырдарьи – 60 % дренажных вод. Следовательно, экологичность дренажа в первом случае составляет 60 %, а во втором – 40 %. Для сведения, экологичность дренажа в Кура-Араксинской низменности близка к единице, так как дренажный сток сбрасывается в Каспийское море.

Последствиями повторного использования дренажных вод для полива в бассейне Аральского моря стали загрязнение и истощение водных ресурсов, засоление орошаемых земель, гибель Аральского моря и резкое ухудшение благосостояния населения. При проектировании дренажа орошаемых земель во всех природных зонах необходимо обеспечивать максимальный рассоляющий и экологический эффекты и полностью исключить повторное использование минерализованных дренажных вод для полива. Имеющиеся методы расчета параметров дренажа позволяют это реализовать [3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 16, 18 и др.].

12. Оценка качества оросительных вод. В настоящее время существуют различные точки зрения и мнения в отношении качества оросительных вод. Бесспорным является лишь то, что длительное орошение водами повышенной минерализации возможно только на песчаных и легких по механическому составу почвах при условии хорошей естественной или искусственной дренированности и

применении промывного режима. Результаты выполненных теоретических и экспериментальных исследований показали, что оценка качества и возможности использования вод различной минерализации для орошения должна основываться на анализе солевого режима, водно-физических, физико-химических свойств почв, явлений ионообменной сорбции. Оценка качества и возможности применения вод различной минерализации для орошения производится в соответствии с рисунком 6.7.

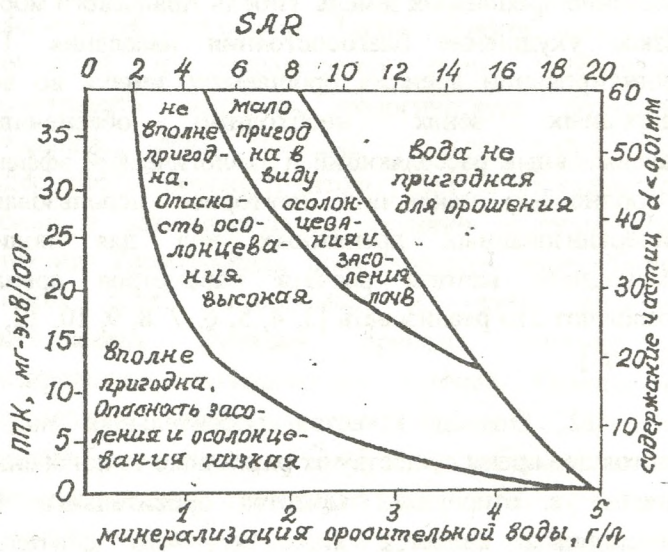


Рис.6.7 Оценка качества оросительных вод.

13. Оптимизация мелиоративного режима орошаемых земель. Под мелиоративным режимом орошаемых земель понимается совокупность требований к регулируемым факторам, обеспечивающим нормальное функционирование природных систем [12]. В состав требований входят:

- требование почв и сельскохозяйственных растений к пределам регулирования водного, солевого и др. режимов, сохранение свойств и плодородия почв;

- требования к источникам орошения и замыкающим элементам речных систем (недопустимость ухудшения режима и качества водных ресурсов, сохранение водных и околоводных экосистем речных долин, пойм и замыкающих элементов);

- требования к технике и технологии орошения (режим орошения, техника полива, дренаж и др.);

- требования к структуре использования земельных ресурсов (оптимизация структуры использования земель с целью сохранения биоразнообразия);

- социально-экономические требования (получение необходимого объема сельскохозяйственной продукции).

Обоснование оптимального мелиоративного режима в каждом случае производится на основании технико-экономических расчетов, учитывающих

экологические и социально-экономические эффекты и ущербы.

Результаты выполненных кафедрой сельскохозяйственных мелиорации Московского гидромелиоративного института (ныне Московский государственный университет природообустройства) теоретических и опытно-производственных исследований послужили основанием для отклонения Государственной экспертной комиссией Госплана СССР и Государственным Экологическим Советом ряда недостаточно проработанных крупных мелиоративных проектов в 1981-1995 гг, в том числе:

- ТЭО первой очереди переброски части стока Сибирских рек в Среднюю Азию и Казахстан;

- ТЭО развития орошения в междуречье Волга-Урал;

- Генеральная схема комплексного использования и охраны водных ресурсов СССР;

- Проект орошения предкавказских черноземов на базе канала Ростов-Краснодар с забором минерализованных вод из Таганрогского залива;

- ТЭО канала Дунай-Днепр;

- Проекты широкого развития рисосеяния на юге Украины и в Крыму. Несмотря на отрицательное заключение Государственной экспертизы, проекты были

реализованы, что привело к резкому ухудшению экологического состояния Приазовских лиманов и Керкинитского залива Черного моря;

- Программа комплексной реконструкции мелиоративных систем.

Список литературы, использованной в главе 6

1. Misra C., Nilsen D.R., Biggar I.W. Nitrogen transformation in soil during leaching. – Proceedings of the Soil Science Society of America, 1974, vol. 38, N 2.
2. Nilsen D.R., Starr I.L. Nitrogen transformations during continuous leaching. – Proceedings of the Soil Society of America. 1974, vol. 38, N2.
3. Аверьянов С.Ф. Вопросы обоснования дренажа орошаемых земель. В сб. Борьба с засолением орошаемых земель. М, Колос, 1967.
4. Аверьянов С.Ф. Горизонтальный дренаж при борьбе с засолением орошаемых земель. М, АН СССР, 1959.
5. Аверьянов С.Ф. Некоторые вопросы предупреждения засоления орошаемых земель и меры борьбы с ним в Европейской части СССР. В кн. Орошаемое земледелие в Европейской части СССР. М, Колос, 1965.
6. Аверьянов С.Ф. О расчете осушающего действия горизонтального дренажа в условиях напорного питания. Научные записки МИИВХ, М, 1960, т. 22.

7. Аверьянов С.Ф. Предупреждение засоления орошаемых земель и меры борьбы с ним. Вестник сельскохозяйственной науки, 1969, № 9.
8. Аверьянов С.Ф. Расчет осушительного действия глубоких дренажей. Научные записки МГМИ, М, 1948, т. 15.
9. Аверьянов С.Ф., Абдурагимов Т.А. К теории рассоляющего действия горизонтального дренажа. Доклады ТСХА, М, 1963, вып. 87.
10. Аверьянов С.Ф., Абдурагимов Т.А., Рачинский В.В. Применение метода радиоактивных индикаторов в исследовании динамики вымывания солевого раствора из почвогрунтов на модели с дренажной системой. Изв. ТСХА, 1963, № 1.
11. Айдаров И.П. Регулирование водно-солевого и питательного режимов орошаемых земель. М, ВО Агропромиздат, 1985.
12. Айдаров И.П., Голованов А.И. Мелиоративный режим и пути его улучшения. Гидротехника и мелиорация, 1980, № 8.

13. Айдаров И.П., Королькова Т.П. Математические модели переноса азота в почвах. Труды МГМИ: Комплексное регулирование факторов жизни растений. М, 1981, т. 65.
14. Алпатьев С.М. Биоклиматический метод обоснования водного режима растений и его использование в земледелии. В кн. Водный режим растений в засушливых районах СССР. М, АН СССР, 1961.
15. Волобуев В.Р. Введение в энергетику почвообразования. М, Наука, 1074.
16. ВСН 33-2.2.03-86 Мелиоративные системы и сооружения. Дренаж орошаемых земель. Нормы проектирования. М, 1987.
17. Голованов А.И., Новиков О.С. Математическое моделирование переноса влаги и солей в почвогрунтах на орошаемых землях. Труды МГМИ, М, 1974, том XXXVI.
18. Гусейнов Г.Н. Исследование рассоляющего действия различных типов дренажей при наличии напорного питания, методом радиоактивных индикаторов. Канд. дисс., М., 1968.

19. Данильченко Н.В. Районирование оросительных норм и режимов орошения в Среднем Поволжье. М, МГУП, 2002.
20. Динамика баланса гумуса на пахотных почвах Российской Федерации. М, 1998.
21. Карманов И.И. Плодородие почв СССР. М, Колос, 1980.
22. Корольков А.И. Влияние орошения на водно-солевой режим и почвенные процессы предкавказских черноземов. Канд. дисс., М, 1986.
23. Корольков А.И. Водно-солевой режим орошаемых земель Приморской оросительной системы. Вестник сельскохозяйственной науки, 1973.
24. Корольков А.И. Орошение черноземов. Гидротехника и мелиорация, № 12, 1984.
25. Костяков А.Н. Основы сельскохозяйственной мелиорации. М, Сельхозгиз, 1951.
26. Ландес Г.А., Никольская А.А., Фроликов П.И. Полив дождеванием зерновых культур. М, Колос, 1975.

27. Методические рекомендации по контролю за мелиоративным состоянием орошаемых земель. М, ВНИИГиМ, 1978.
28. Мосиенко Н.А. Агрогидрологические основы орошения. Л, Гидрометеиздат, 1984.
29. Никольский Ю.Н. Расчет оросительных норм при увлажнении путем дождевания осушенных земель грунтового питания. Труды МГМИ, 1976, том 40.
30. Орошение. Справочник. М, ВО Агропромиздат, 1990.
31. Базилевич Н.И. , Панкова Е.И.. Методические указания по учету засоленных почв. М. Почвенный институт им. В.В.Докучаева 1964 .
32. Постановление Всесоюзной научно-технической конференции по вопросам борьбы с засолением и улучшения мелиоративного состояния орошаемых земель Средней Азии, Южного Казахстана и Азербайджана. М, 1964.
33. Практикум по сельскохозяйственным гидротехническим мелиорациям. М, ВО Агропромиздат, 1986.

34. Режим водообеспеченности и условия гидромелиорации степного края. М, Колос, 1974.
35. СНиП 2.06.03-85 Мелиоративные системы и сооружения. М, 1986.
36. Структурно-функциональная роль почвы в биосфере. М, ГЕОС, 1999.
37. Укрупненные нормы водопотребности для орошения по природно-климатическим зонам СССР. М, 1984.
38. Шабанов В.В. Биоклиматическое обоснование мелиорации. Л, Гидрометеоиздат, 1973.
39. Шредер В.Р. и др. Различные значения оросительных норм сельскохозяйственных культур в бассейнах рек Сырдарьи и Амударьи. Ташкент, 1970.

СОДЕРЖАНИЕ

Посвящение	3
Предисловие.	5
Глава 1.	
Состояние орошаемого земледелия в Средней Азии в конце XIX и в начале XX веков	15
1.1. Анализ природных условий бассейна Аральского моря.	17
1.2. Анализ многолетнего опыта орошения земель в бассейне Аральского моря.	30
1.3. Развитие орошения земель в бассейне Аральского моря в 1936-1960 годах.	44
1.4. Опыт применения дренажа и промывок для борьбы с засолением орошаемых земель	49
1.5. Цели и задачи опытно-производственных исследований, подбор и подготовка научно- технических кадров для проведения исследований.	53
Список использованной литературы к главе 1	55
<hr/>	
Глава 2.	
2.1. Оценка природных условий основных районов орошения земель в Европейской части страны	65
2.1.1. Различие процессов вторичного засоления	74
2.1.2. Различие в изменении естественного увлажнения.	76
2.1.3. Различие в степени естественного увлажнения по годам	78
2.1.4. Различие в объёмах и химическом составе солей, поступающих в почву с оросительной водой	79
2.1.5. Промывной режим орошения	80
2.1.6. Техника полива	81

2.2. Природные условия Азово-Кубанской равнины	82
2.3. Природные условия Прикаспийской низменности	93
2.4. Цели и задачи опытно-производственных исследований в степной и сухостепной зонах.	109
Список использованной литературы к главе 2	111
<hr/>	
Глава 3. Методика исследований и оборудование опытно-производственных участков	118
3.1. Основные методические принципы исследований	118
3.2. Объекты исследований	120
3.3. Характеристика опытно-производственных участков	123
3.4. Методика исследований и оборудование опытно-производственных участков	140
Список использованной литературы к главе 3	159
<hr/>	
Глава 4. Результаты опытно-производственных исследований в пустынной зоне.	163
4.1. Исследования допромывного периода	168
4.2. Промывки засоленных земель	173
4.3. Межпромывной и послепромывной периоды	184
4.4. Исследование эффективности горизонтального дренажа	187
4.5. Оценка моделей солепереноса и возможности их применения для описания процессов формирования водно-солевого режима орошаемых земель в пустынной зоне	194
4.6. Точность моделей влаго- и солепереноса в почвах пустынной зоны	199
Список использованной литературы к главе 4	203
<hr/>	

Глава 5.	
5.1. Результаты опытно-производственных исследований в степной и сухостепной зонах	207
5.2. Исследование водного режима черноземных и каштановых почв	230
5.3. Исследование солевого режима черноземных и каштановых почв	243
Список использованной литературы к главе 5	261
<hr/>	
Глава 6.	
6.1. Принципы обоснования системы мелиоративных мероприятий при орошении земель в различных природных зонах	271
6.2. Основные принципы обоснования мелиоративных мероприятий	275
Список использованной литературы к главе 6	300
Содержание	306



Айдаров Иван Петрович

Окончил в 1955 году Московский институт инженеров водного хозяйства имени В.Р.Вильямса, инженер-гидротехник, доктор технических наук, профессор, действительный член (академик) РАСХН, заслуженный мелиоратор Российской Федерации. С 1972 года научный руководитель работ, проводимых в Средней Азии, в Поволжье и в Северном Кавказе. Автор более 290 научных работ, в том числе 8 монографий.



Королькова Тамара Павловна

С отличием окончила в 1963 году Московскую сельскохозяйственную академию имени К.А.Тимирязева. Почвовед-агрохимик, старший преподаватель кафедры «Почвоведение и земледелие». Более 10 лет принимала активное участие в качестве начальника почвенного отряда в экспедициях, проводимых институтом в Средней Азии и Ростовской области. Автор около 40 научных работ.



Корольков Анатолий Иванович.

В 1963 году окончил Московскую сельскохозяйственную академию имени К.А.Тимирязева. Почвовед-агрохимик, кандидат технических наук, доцент. Принимал участие в экспедициях, в качестве начальника отряда, экспедиции в Средней Азии и Ростовской области. Автор около 50 научных работ.

**Иван Петрович Айдаров,
Тамара Павловна Королькова,
Анатолий Иванович Корольков**

**Предупреждение и борьба с засолением орошаемых земель
(результаты опытно-производственных исследований в
пустынной, степной и сухостепной зонах, выполненных в
1962-1977 годах)**

МОНОГРАФИЯ

Печатается в авторской редакции
Компьютерный набор и вёрстка: Н.З. Айдаровой,
И.А. Королькова

Фото: Л.Ф. Пестова

ISBN 978-5-89231-364-3



9 785892 313643

Подготовлено к печати 10.01.2012 г. Тираж – 500 экз.
Формат 60x84/16. Объём 19,4 уч.-изд.л. Заказ № 1
Бумага офсетная. Печать ротационно-трафаретная.
Цена договорная

Отпечатано в лаборатории множительной техники
ФГБОУ ВПО МГУП
127550, г. Москва, ул. Прянишникова, 19