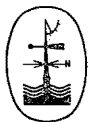


Н. А. Мосиенко

АГРОГИДРОЛОГИЧЕСКИЕ
ОСНОВЫ
ОРОШЕНИЯ

*на примере
Западной Сибири, Урала
и Северного Казахстана*

Издание второе, переработанное и дополненное



ЛЕНИНГРАД ГИДРОМЕТЕОИЗДАТ 1984

М81

Рецензенты: д-р физ.-мат. наук, проф. А. Р. Константинов,
д-р геогр. наук П. П. Кузьмин,
д-р техн. наук, проф. С. И. Харченко

Ответственный редактор: д-р техн. наук, проф. С. И. Харченко

Анализируются основные агрогидрологические проблемы, возникающие при проектировании и эксплуатации оросительных систем в степной и лесостепной зонах на местном стоке и стоке сибирских рек. Приводятся данные по водному режиму автоморфных почв и влагообмену грунтовых вод с зоной аэрации, по ресурсам поверхностных и подземных вод, намечаются пути их использования при орошении. Рассматривается влияние агро-технических мероприятий на речной сток. Излагаются агрогидрологические основы регулярного и лиманного орошения, рассматриваются вопросы водно-солевого баланса зоны аэрации орошаемых земель и применения тепловоднобалансового метода для расчета поливных норм. Предлагается гидролого-мелиоративное районирование степной и лесостепной зон Среднего региона СССР.

Рассчитана на мелиораторов, агрометеорологов, гидрологов, почвоведов, агрономов и студентов соответствующих специальностей.

The book by N. A. Mosienko «Agrohydrological Basis of Irrigation (on examples of Western Siberia, Urals and Northern Kazakhstan)» considers major agrohydrological problems of designing and operation of irrigation systems on local runoff and runoff of Siberia rivers, in lands of heath and forestheath zones.

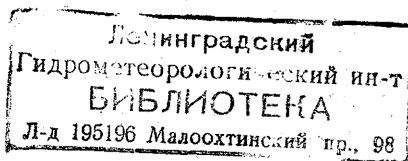
Hydrological characteristics of water regime of soil, hydrologic cycle of underground water in aeration, resources of surface and underground water and trends their use for irrigation are regarded. It considers also influence of agrotechnical measures upon river runoff.

Agrohydrology basis of regular and firth irrigation (based on the use of local runoff) and questions of water-and-salt balance of irrigated lands are discussed.

Experiment of water regime control of irrigated lands on basis of heat-and-water-balance method use is represented.

Classification of Lands (Hydrology and Amelioration) of heath and forestheath zones of Middle region USSR is proposed.

The book will be of value for hydrologists, meliorators, agrometeorologists, pedologists, agronomists and students of corresponding specialities.



Моим учителям
Алексею Николаевичу Костякову
и Борису Аполлоновичу Шумакову
посвящаю

ПРЕДИСЛОВИЕ

В Продовольственной программе СССР большое внимание уделяется мелиорации земель, в частности орошению. Орошение все больше распространяется из аридных в полуаридные зоны Срединного региона*: на территорию Южного Урала, Западной Сибири, Северного Казахстана и др.

322118
Впервые вопросы необходимости тщательного учета природных условий при мелиорации земель были поставлены А. И. Воейковым [114], А. Н. Костяковым [98], В. Г. Глушковым [113], С. Ф. Аверьяновым [2]. В 1967 г. вышло первое, а в 1975 г. — второе издание книги С. И. Харченко [189], посвященной мелиоративной гидрологии, в частности гидрологии орошаемых земель. Затем вопросы мелиоративной гидрологии в оазисах традиционного орошения, а также в новых районах регулярного орошения рассматривались в работах И. А. Кузника [103], Л. Н. Побережского [153] и др.

В 1972 г. вышла в свет книга «Агрогидрологические основы орошения в степной зоне (на примере Западной Сибири и Северного Казахстана)», в которой исследовались основные проблемы гидрологии и агрометеорологии орошаемых земель в степной зоне [131]. Целью этой монографии было исследование особенностей формирования водного и теплового режимов почвогрунтов зоны аэрации орошаемых земель степной зоны Срединного региона, а также разработка научных рекомендаций по установлению оросительных норм при регулярном и лиманном орошении с учетом интенсивности влагообмена в активной зоне почвогрунтов.

В связи со строительством крупных оросительных систем с подачи воды из р. Оби назрела необходимость исследования агрогидрологических основ развития орошения и выявления влияния орошения на элементы водного баланса орошаемой территории, уточнения расчетных параметров для условий степной и лесостепной зон Срединного региона СССР. Это и явилось одной из причин переиздания книги.

Уточнению и существенной переработке подверглись практически все главы и параграфы монографии. В нее включена но-

* В Срединный регион СССР входят Западно-Сибирский и Уральский экономические районы, Казахстан и республики Средней Азии, т. е. около 30% территории Советского Союза.

вая глава «Водно-солевой баланс орошаемых земель», написанная на основе материалов стационарных исследований, проведенных в районах действия крупных оросительных систем в Алтайском крае (Алейская оросительная система), в Курганской (Кетовская оросительная система), в Челябинской (оросительные системы в совхозе «Петровский» и мясо-овощном совхозе Магнитогорского металлургического комбината), в Оренбургской (Городищенская и Илекская оросительные системы) областях. Экспериментальные исследования носили комплексный характер, а именно: на одних и тех же объектах проводились агрогидрологические, мелиоративные, гидрологические и почвенные исследования.

В соответствии с поставленной задачей в настоящей монографии освещаются следующие вопросы орошения, недостаточно изученные в условиях степной и лесостепной зон:

- снегораспределение на основных элементах рельефа и режим промерзания почвогрунтов;

- особенности формирования стока на малых водосборах в связи с возможностью использования местного стока для орошения;

- сток с засоленных почв;

- влияние агротехнических мероприятий на формирование весеннего стока и ресурсы поверхностных вод, которые могут быть использованы для целей орошения;

- вопросы почвенной гидрологии в связи с решением первоочередных задач орошения степной зоны Среднего региона;

- ресурсы подземных вод и возможности их использования при условии стабильности уровня режима;

- водно-солевой баланс орошаемых земель;

- гидромелиоративное районирование на основе качественного и количественного учета факторов формирования водного режима почвогрунтов зоны аэрации.

Для решения этих вопросов под руководством и при непосредственном участии автора были выполнены полевые экспериментальные исследования по определению основных элементов водного баланса орошаемых земель, размеров склонового стока, на установление режима грунтовых вод и др. Теоретический анализ, а также обобщение собственных экспериментальных данных и данных других исследователей позволили решить некоторые вопросы гидрологического обоснования проектирования оросительных систем в степной зоне, предложить новый способ определения инфильтрации в мерзлую почву, что необходимо для расчета оросительных норм и продолжительности затопления лиманов, а также предложить новый метод оценки влагообеспеченности растений. В основу разработки методов определения влагообеспеченности и оросительных норм были положены уравнения водного и теплового балансов почвогрунтов зоны аэрации с учетом особенностей онтогенеза растений [189].

Таким образом, в настоящей монографии рассмотрена комп-

лексная научная проблема гидрологического обоснования развития орошаемого земледелия. В книге осуществлено также комплексное гидромелиоративное районирование степной и лесостепной зон Западной Сибири, Южного Урала и Северного Казахстана.

Полевые экспериментальные исследования, результаты которых легли в основу книги, были начаты автором в 1954 г. на воднобалансовых площадках участка лиманного орошения в пос. Зеленый Луг Родинского района Алтайского края; в колхозе «Искра» Баганского района Новосибирской области и на полях Павлодарской опытной сельскохозяйственной станции. В 1959—1966 гг. эти работы были расширены: воднобалансовые исследования при регулярном орошении были начаты в колхозе «Маяк», в совхозе «Ключевской» (пос. Истимис) и на орошаемых землях Кулундинской опытной станции (Алтайский край).

В 1967—1971 гг. автор принимал участие в работе Алтайской комплексной экспедиции МГУ, а в 1971—1982 гг. — в гидрологической экспедиции Уральского НИИ комплексного использования и охраны водного хозяйства (УралНИИВХ). Исследования проводились на землях совхоза «Петровский», мясо-овощного совхоза Магнитогорского металлургического комбината (МОС ММК) в Челябинской области, колхозов «За мир» и имени XXII партсъезда в Оренбургской области и совхоза «Утятский» в Курганской области. Таким образом, исследования водного режима орошаемых земель проводились в течение 27 лет. Обеспеченность естественными осадками в эти годы была различной: 6 лет были острозасушливыми, 7 лет — засушливыми, 9 лет — средними, 3 года — средневлажными и 2 года — влажными.

В проведении полевых экспериментальных работ в степной и лесостепной зонах Срединного региона, кроме автора, принимали участие Ю. П. Антошников, А. А. Дерингер, Н. В. Кривенко, Н. Н. Логинова, А. Н. Федоров, В. Н. Федоров, В. А. Шумов.

Большую работу при подготовке материалов для книги и в ее оформлении выполнили Н. Н. Антонова, Н. А. Бусыгина, Н. П. Емельянова, И. А. Кузьминых, З. А. Милешина и Н. А. Пашагина. Автор искренне благодарен всем участникам Уральской гидрологической экспедиции и сотрудникам кафедры сельскохозяйственной мелиорации Казанского СХИ за оказанную помощь.

Автор приносит искреннюю благодарность акад. П. Я. Кочинской, акад. ВАСХНИЛ Б. Б. Шумакову, д-ру геогр. наук

П. П. Кузьмину и д-ру геогр. наук, проф. А. М. Шульгину за постоянный интерес к работе, ее обсуждение и участие в разработке отдельных вопросов. Автор глубоко признателен д-ру физ.-мат. наук, проф. А. Р. Константинову и д-ру техн. наук, проф. С. И. Харченко, высказавшим ряд ценных замечаний, учтенных автором при переработке рукописи.

Степная и лесостепная зоны Срединного региона расположены на внутриконтинентальных территориях Евразии в пределах юга Западной Сибири (Алтайский край, Новосибирская, Омская и Тюменская области), Южного Урала (Курганская, Оренбургская и Челябинская области) и Северного Казахстана (Кокчетавская, Кустанайская, Павлодарская, Северо-Казахстанская, Тургайская и Целиноградская области). Они являются одним из крупных сельскохозяйственных районов страны. Ведущее место в экономике этих областей занимают выращивание зерновых культур и животноводство.

1.1. Некоторые особенности природных условий

Рельеф и геоморфология. В современном рельефе степной и лесостепной зон Срединного региона можно выделить пять крупных гипсометрических ступеней — пять орографических уровней: низкий (0—100 м), низменный (100—200 м), средний (200—500 м), возвышенный (500—1000 м) и высокий (более 1000 м).

На рассматриваемой территории низкий уровень располагается на больших площадях; на севере — это Туринская наклонная равнина, Кондинская и Среднеиртышская низменности, а на юге — Южно-Тургайская равнина (рис. 1.1). Еще более значительную площадь занимает низменный уровень. Его формируют на востоке Барабинская низменность и Кулундинская равнина, в центральной части — Ишимская наклонная равнина и на западе и юге — Предтургайская и Северо-Тургайская наклонные равнины. Средний орографический уровень образует на западе Туринскую наклонную равнину и полосу предгорий восточного склона Урала, на юге — денудационные равнины Центрального Казахстана и на западе — Приобское плато. К возвышенному орографическому уровню следует отнести холмогорье и низкогорья Центрального Казахстана и Южного Урала, к высокому — небольшие площади на юге и западе (среднегорье Центрального Казахстана и Салаирского кряжа).

Крупные элементы рельефа рассматриваемой территории имеют на западе субмеридиональную и субширотную ориентировку, на востоке преобладает востоко-северо-восточная. Ориентировка средних и малых эрозионных форм рельефа подчинена этой же закономерности.

Рассмотренные нами основные закономерности современного рельефа позволяют сделать некоторые выводы о возможности его практического использования в связи с предполагаемой переброской части стока сибирских рек. В первую очередь привле-

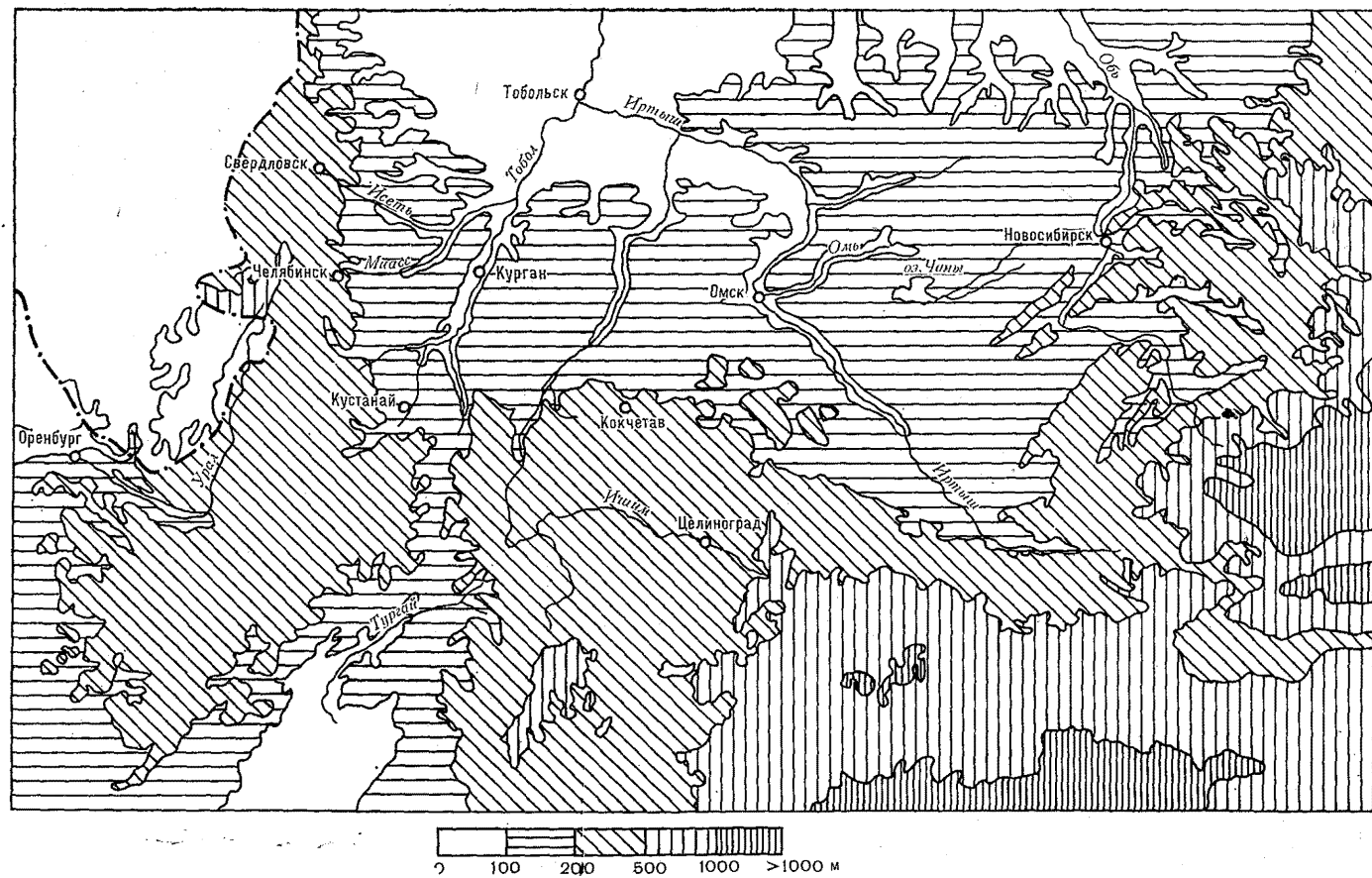


Рис. 1.1. Гипсометрическая схема Среднего региона СССР.

кает внимание наличие сквозного долинообразного понижения, которое может быть использовано для проведения основного магистрального канала. Это понижение расположено в пределах Тургайско-Туранской геоморфологической страны.

Использование древних долин в качестве магистральных и даже оросительных каналов может принести определенную пользу. Оно снизит потери воды в каналах, так как древние долины врезаются в водоупорные глинистые породы неогена. Кроме того, потоки грунтовых вод в пределах древних долин позволят несколько увеличить запасы воды в каналах при переброске части стока сибирских рек в Арал, а путем соединения древних и современных долин можно будет создать единую систему водных путей.

Абсолютные отметки Обь-Иртышского междуречья находятся в пределах 100—300 м над ур. м. На этой территории нами выделено несколько характерных геоморфологических районов: Приобское плато, Кулундинская аллювиальная равнина, Павлодарская волнистая равнина, Прииртышская озерно-аллювиальная равнина и Северо-Кулундинская озерная равнина [131].

Рельеф западной части Южного Урала (Оренбуржье) — грядово-увалистый, а на юге — холмисто-грядово-равнинный (уклоны от 0,01 до 0,001). Территория, абсолютная высота которой изменяется от 300 до 700 м над ур. м., сильно расчленена глубокими извилистыми речными долинами. Рельеф восточной и центральной частей Южного Урала (Курганская и Челябинская области) — грядово-холмистый. На юге местность занята холмистой приподнятой равниной, где на фоне пологих возвышенностей встречаются древние останцы, сложенные устойчивыми к выветриванию породами. В восточной, наиболее выровненной части без особой закономерности и весьма неравномерно разбросаны мелкие западины (блюдца), нередко занятые озерами. Возвышенности приурочены обычно к наиболее устойчивым против разрушения породам. Абсолютная высота здесь не более 350—400 м над ур. м. На востоке слабо наклонная поверхность Южного Урала сливается с плоской равниной Западно-Сибирской низменности. Своеобразие рельефа и геоморфологии Южного Урала определяется весьма сложным геологическим строением территории, что необходимо учитывать при проектировании оросительно-обводнительных работ.

Степная зона Северного Казахстана представлена слабоволнистой равниной, и лишь в южной ее части встречаются отдельные гряды высотой 550—660 м над ур. м. Волнистость здесь создается в основном за счет большого количества блюдцеобразных замкнутых микро- и мезопонижений, балок и ложбин. Большая часть этих западин распахана, и поэтому склоны их сглажены, а сами понижения практически не отличаются от основной территории.

В пределах Приобского плато, с мелиоративной точки зрения, большой интерес представляют различные понижения просадочного происхождения, которые необходимо учитывать при проек-

тировании и трассировке магистральных и распределительных каналов крупных оросительных систем.

Геология и гидрогеология. Геологическое строение степной зоны Западно-Сибирской низменности представлено сложным комплексом рыхлых мезокайнозойских отложений, которые мощным плащом покрывают породы палеозойского фундамента [21]. В рыхлой толще мезокайнозоя (рис. 1.2) встречаются меловые, неогеновые и четвертичные отложения. В разрезе этих отложений заключены верхнечетвертичные, среднепалеогеновые и меловые водоносные комплексы — всего около 15 водоносных горизонтов [47, 101]. Подземные воды рассматриваемой территории напорные.

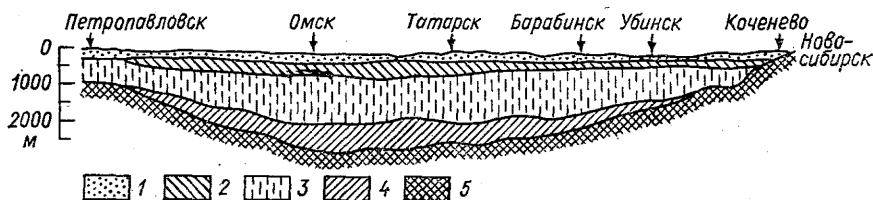


Рис. 1.2. Геологический профиль Западно-Сибирской низменности (по Н. Н. Ростовцеву).

Отложения: 1 — четвертичные, 2 — палеогеновые, 3 — меловые, 4 — юрские, 5 — палеозойские.

Грунтовые воды юга Западной Сибири залегают в основном в четвертичных отложениях Кулундинской свиты и представляют собой гидродинамически единый водоносный комплекс. Мощность водоносной толщи может достигать 40 м и более. Водоупором являются глинистые прослои неогена, которые залегают на глубине 60—120 м. Кровлей же служат делювиальные отложения мощностью 10—15 м.

На глинах и тяжелых суглинках зоны аэрации почвогрунтов при переувлажнении, как правило, образуется верховодка, которая, как установлено опытами автора и Е. В. Щербань [101], довольно быстро рассасывается. Глубина залегания грунтовых вод в Центральной Кулунде изменяется от 1 до 10 м и более. Минерализация грунтовых вод составляет 0,3—2,5 г/л, редко превышает 3 г/л. Тип вод — гидрокарбонатно-кальциевый, гидрокарбонатно-натриевый и сульфатно-натриевый [47].

Подземные воды западного склона Урала распространены во всех литологических разностях пород и формируются в условиях открытых и полузакрытых гидрогеологических структур. По химическому составу воды самые разнообразные: встречаются гидрокарбонатные, сульфатные и хлоридные с общей минерализацией от 0,5 до 10 г/л.

Для орошения центральной степной части юга Западной Сибири перспективным является нижнечетвертичный (кулундинский) водоносный комплекс, включающий два-три регионально

взаимосвязанных водоносных горизонта. Основными водоносными породами здесь являются серые крупнозернистые пески, залегающие на глубине 5—10 м. Дебит отдельных скважин достигает 25 л/с (при понижении до 5 м). Воды — пресные: минерализация их не превышает 0,5—1 г/л; тип вод — гидрокарбонатно-кальциевый.

Локальное орошение за счет подземных вод в степной зоне Южного Урала, по А. М. Черняеву [193], может иметь место лишь при использовании аллювиальных вод долин крупных рек и растворимых известняков. Воды известняков обычно имеют свободную поверхность и залегают на глубине от нескольких метров в долинах рек до 50—100 м на водоразделах. Довольно часто наблюдаются здесь естественные выходы подземных вод в виде источников с дебитом от 1—5 до 300 л/с. Модули подземного стока для водоносного комплекса известняков достигают 4,7—6,0 л/с, и эти воды вполне можно использовать для локального орошения [4].

Климат. Положение рассматриваемой территории в центре Евразии и удаленность ее от морей и океанов обуславливают ярко выраженную континентальность климата. Характерными его особенностями являются незначительное количество осадков и сильные ветры.

Средняя продолжительность безморозного периода здесь около 130 дней, а в годы с теплым летом она возрастает до 160—170 дней. Зима продолжительная и холодная. В конце сентября — начале октября отмечаются заморозки, хотя среднемесячная температура еще выше 0°С. Средняя дата установления снежного покрова почти всегда приходится на период с температурами от —5 до —10°С, т. е. снег ложится на мерзлую почву. Весна короткая. Разница среднемесячных температур марта и апреля составляет 8—12°С. Лето жаркое и продолжительное. Самым жарким месяцем является июль со среднемесячной температурой 18—24°С, а самым холодным — январь с температурой от —16 до —19,5°С.

Сумма положительных температур (выше 5°С) колеблется по территории от 2200—2500°С в Курганской и в равнинных районах Челябинской областей до 3000—3400°С в Оренбургской и в южных районах Северного и Центрального Казахстана; а сумма эффективных температур (выше 10°С) — показатель возможности созревания основных сельскохозяйственных культур умеренного пояса — составляет от 1800—2000°С (Курган — Челябинск) до 2400—3000°С (Барнаул — Павлодар — Оренбург).

Среднегодовое количество осадков увеличивается от 220—250 мм на юго-западе (Обь-Иртышское междуречье) до 350—400 мм (Омская степь и Приобское плато). Изменяется количество осадков и внутри административных областей рассматриваемого региона. Так, в Курганской области, по И. С. Шахову [198], оно уменьшается с северо-запада на юго-восток от 450—

500 до 350—400 мм, в Челябинской — от 500 на западе до 360—400 мм на востоке, в Оренбургской области — от 450 до 300—250 мм. Наибольшее количество осадков приходится на летний период (на Южном Урале, например, летние осадки в 2—2,5 раза больше зимних). Наименьшее количество осадков (20—80 мм) приходится на январь—март.

За вегетационный период в степной зоне осадки распределяются крайне неравномерно. В первую половину вегетации (май—июнь), когда растения особенно нуждаются во влаге, выпадает только 50—70 мм осадков, а иногда и меньше (табл. 1.1).

Таблица 1.1

Количество осадков по периодам года

Метеостанция	Начало вегетации (V—VI)		Формирование урожая (VII)		Теплый период (IV—X)		Холодный период (XI—III)		Год, мм
	мм	%	мм	%	мм	%	мм	%	
Павлодар	54	25	44	23	170	78	49	22	219
Рубцовск	74	24	46	14	227	72	90	28	317
Славгород	57	22	49	19	202	73	74	27	376
Родионо	56	21	48	17	212	65	113	35	325
Ребриха	76	21	73	21	286	72	109	28	395
Купино	70	22	67	20	229	68	108	32	337
Шербакты	55	23	—	—	—	—	—	—	250
Омск	84	24	70	20	280	82	61	18	341

В сильно засушливые и сухие годы (например, 1962, 1963, 1965, 1967, 1974 и 1975) общая сумма годовых осадков снижается до 120—150 мм. Максимум осадков в такие годы невыгодно смещается с июля на август. Увеличение же осадков в августе не может существенно влиять на урожай зерновых культур. Во влажные годы (например, 1954, 1958, 1972) наблюдается возрастание их во все сезоны, особенно в мае и июне.

Важным климатообразующим фактором территории является ее радиационный баланс. Поэтому количественные значения составляющих теплового баланса подстилающей поверхности достаточно хорошо иллюстрируют это положение (табл. 1.2). Так, например, по данным В. А. Сенникова и А. П. Сляднева [171], в южной Кулунде (Угловское) на теплообмен в почве B и турбулентное перемешивание P расходуется больше тепла, чем на Приобском плато (Ребриха, Хабары). Затраты тепла на испарение LE находятся в обратном соотношении. Разность между испаряемостью и испарением (баланс влаги, по А. П. Слядневу) изменяется от 159 мм в Угловском до 86 мм в Ребрихе.

Составляющие теплового баланса в Кулунде
(% радиационного баланса)

Метеостанция	Расход тепла, %			Испаре- мость (V—VIII), мм	Испаре- ние, мм	Баланс лага (V—VIII), мм
	LE	P	B			
Ребриха	75	18	7	412	326	86
Славгород	59	29	12	439	293	146
Угловское	60	30	10	451	292	159
Хабары	71	21	8	417	311	106

Максимальные снегозапасы на рассматриваемой территории также изменяются по равнинной части территории и составляют для Урала от 120 до 85 мм, а для Северного Казахстана и юга Западной Сибири — от 100 до 80 мм и менее [70, 119, 135]. Устойчивый снежный покров сходит обычно в северной части рассматриваемой территории 5—10 апреля, а на юге — в конце марта — начале апреля.

Глубина проникновения отрицательных температур в почвогрунты, по нашим исследованиям, зависит от суммы отрицательных температур воздуха, степени влажности почвы и ее механического состава, а также от высоты и плотности снежного покрова. Лишенная снежного покрова почва нередко промерзает до глубины 2—2,5 м [122].

В Северном Казахстане зимой наблюдаются сильные бури. Ветры здесь в основном юго-западного и западного направлений. Около 50% из них имеют скорость 4—8 м/с. На Южном Урале и в Зауралье зимой преобладают юго-западные ветры. Как отмечает И. С. Шахов [198], летом здесь направления ветра менее устойчивы. В это время года преобладают ветры северного, северо-западного и западного направлений, но повторяемость их не превышает 25%. Среднесуточная скорость ветра за вегетационный период колеблется от 3,5—4,0 м/с в Оренбургской и Челябинской областях до 4,2—4,5 м/с в Курганской и Омской [190, 201].

Сравнительно высокие температуры воздуха, большие скорости ветра и довольно низкая влажность воздуха (зимой 0,5—0,8, летом 3 гПа) вызывают значительное суммарное испарение и испаряемость. Так, например, интенсивность суммарного испарения при оптимальном увлажнении почвы в Курганской области (Затоболье) может достигать 5—6 мм в сутки. Что же касается годового испарения с водной поверхности, которое в некоторой степени может характеризовать суммарное испарение при оптимальном увлажнении подстилающей поверхности, то оно составляет 700—900 мм [156].

Характеристика условий естественного увлажнения почвогрунтов за отдельные периоды года может быть получена путем учета перераспределения во времени влаги, поступившей в почву. В результате многолетних исследований автора в Кулунде выяснилось, что дефицит увлажнения метрового слоя почвы изменяется в средний по влажности год от 112 мм в Баево (Приобское плато) до 223 мм на Михайловском содокомбинате (Центральная Кулунда), а в среднесухой год (75%-я обеспеченность осадками) этот дефицит повышается до 220 и 328 мм соответственно. Влажность активного слоя почвы при этом снижается во многих случаях до влажности разрыва капиллярной связи

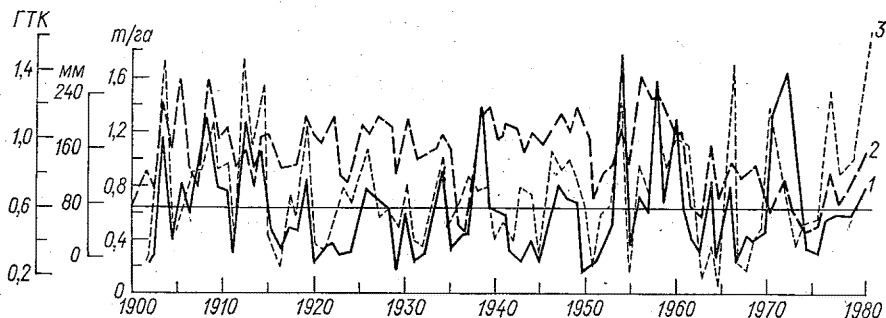


Рис. 1.3. Урожайность (т/га) яровой пшеницы (1), количество осадков (мм) за период вегетации (2) и ГТК за май—июнь (3). Линия, параллельная оси абсцисс,—средняя урожайность (0,65 т/га).

(ВРК) или же до влажности завядания (ВЗ). Таким образом, растения в степной зоне Срединного региона испытывают недостаток продуктивной влаги в метровом слое почвы не только в сухой (85%-я обеспеченность осадками), но и в средний по влажности год (рис. 1.3). Поэтому для приведения баланса влаги и тепла в соответствие с оптимумом здесь необходимо орошение.

Растительность и почвенный покров. Ландшафт Приобского плато характеризуется сочетанием распаханых сельскохозяйственных угодий, рассеченных ленточными массивами сосновых боров, и остатков разнотравно-ковыльных степей с островками галофитной растительности. Естественная растительность встречается в основном в западинах, логах и в верховьях временных водотоков, а ленточные сосновые боры шириной от 10 до 40 км располагаются в долинах степных рек Алтая (Касмалы, Барнаулки, Кулунды, Бурлы и др.), где на глубине 2—3 м от поверхности залегают пресные слабопроточные грунтовые воды [133].

Растительность степной части юга Западной Сибири и Северного Казахстана весьма разнообразна. На юго-западе и западе (вплоть до Оренбуржья) расположена степь, а на остальной тер-

ритории — лесостепь. Южная граница распространения лесных колков проходит по линии с. Качиры — оз. Бурлинское — оз. Кулундинское. Растительный покров здесь представлен разнотравно-типчачовыми ассоциациями с небольшой примесью степного разнотравья.

В почвенном покрове степной и лесостепной зон юга Западной Сибири встречаются как зональные автоморфные, так и интразональные почвы полугидроморфного и гидроморфного развития, среди которых имеют место и засоленные почвы (солонцы и солончаки). Автоморфные почвы здесь представлены в основном черноземами и каштановыми, а полугидроморфные и гидроморфные почвы — солодами и солонцами, которые приурочены к мелким западинам и занимают сравнительно небольшие площади [169].

Почвы Центрально-Кулундинской аллювиальной и Павлодарской плоско-волнистой равнин темно-каштановые и каштановые песчаные, супесчаные, легкосуглинистые и суглинистые. На Приобской расчлененно-увалистой, на Прииртышской озерно-аллювиальной и Северо-Кулундинской гривно-озерной равнинах развиты маломощные и среднемощные черноземы (обыкновенные и южные выщелоченные) среднесуглинистого механического состава. В предбалочных понижениях среди южных черноземов встречаются луговые и лугово-черноземные почвы, а по широким днищам балок — лугово-солончаковые почвы.

Основной фон почвенного покрова Северного Казахстана и Южного Урала составляют также черноземные и каштановые почвы. В северной части Кустанайской, Северо-Казахстанской, Кокчетавской, Тургайской и Целиноградской областей широко распространены обыкновенные и южные черноземы, обладающие высоким потенциальным плодородием (содержание гумуса в верхнем слое составляет 4—7%). Каштановые почвы менее богаты гумусом (2—3%), в значительной степени они распространены в южной и юго-восточной частях.

В средней части Зауралья преобладают обыкновенные черноземы преимущественно тяжелого механического состава, а в южной части — южные малогумусные черноземы с включением пятен солонцов и солонцеватых почв. В лесостепной зоне Челябинской области имеют место выщелоченные черноземы тяжелого механического состава и со слабой естественной дренированностью.

Таким образом, практически повсеместно в степной зоне Среднего региона встречаются засоленные почвы. По исследованиям В. А. Ковды [88], В. В. Егорова [68], П. С. Панина [147] и др., неравномерное распределение солей в почвенном профиле определяется в основном общим направлением уклона поверхности. Вследствие этого засоление почв больше всего выражено в северо-западной и западной частях Ишимской и Кулундинской степей, а также в местных мезопонижениях рельефа. При проектировании регулярного орошения следует учитывать в пер-

вую очередь особенности солевого режима почвогрунтов зоны аэрации. Широкое развитие орошаемого земледелия должно сопровождаться здесь строительством коллекторно-дренажной сети закрытого горизонтального или вертикального дренажа (или их комбинации). Без искусственного дренирования регулярное орошение неизбежно приведет к резкому подъему зеркала грунтовых вод и развитию вторичного засоления (хлоридно-сульфатного, а в ряде случаев и содового), а также к заболачиванию активного слоя почв микро- и мезопонижений.

1.2. Проблема переброски стока сибирских рек в Срединный регион страны

Всесоюзное объединение «Союзводпроект» при составлении технико-экономического обоснования переброски части стока сибирских рек в Казахстан и Среднюю Азию предлагает два варианта орошения. В варианте «А» предусматривается применение только традиционных способов орошения и систематического дренажа. В варианте «Б» намечается существенное увеличение площади орошения зерновых культур по сравнению с вариантом «А» в степной зоне Курганской, Челябинской и Оренбургской областей РСФСР.

Основополагающим фактором в варианте «Б» явилось предложение Почвенного института АН Казахстана и Института агрохимии и почвоведения АН СССР орошать зерновые культуры и травы в Северном Казахстане малыми поливными нормами по срокам полива, соответствующим критическим фазам вегетации растений. Это позволит обойтись без строительства интенсивного систематического дренажа на орошаемых землях и обеспечить большую экономию воды на каждую тонну продукции.

Минводхоз СССР полагает, что такой принцип орошения можно распространить на все новые орошаемые земли в степной и лесостепной зонах Северного, Западного и Центрального Казахстана и во всех областях Зауралья. При этом предполагается поливать зерновые культуры с помощью дождевания общей оросительной нормой нетто 660 м³/га в среднесухой год (два полива) и 900—1000 м³/га в засушливый год (три полива). Это орошение можно расценивать как увлажнительное, дополняющее естественные осадки. Оно характеризуется искусственно сниженными оросительными нормами относительно оптимальной потребности в увлажнении той или иной культуры в данных конкретных почвенно-климатических условиях. Ожидается, что по сравнению с богарой прирост гарантированной урожайности зерновых (пшеница) составит 1,0—1,5 т/га [49, 152].

Практически все земли, расположенные в 200—300 км от трассы канала «Тургай I» в его северной части, т.е. в зерновой и зерново-животноводческой зоне Срединного региона, характеризуются сложными для мелиорации условиями: слабая естест-

венная дренированность территории, маломощный почвенный слой, слабоводопроницаемые засоленные грунты и т. д. Поэтому орошение здесь традиционными способами и нормами возможно только при интенсивном дренаже, что значительно удорожает водохозяйственное строительство и резко уменьшает рентабельность производства зерна.

Следует отметить, что идея орошения зерновых культур и трав на супесчаных каштановых почвах малыми нормами была впервые изложена автором и А. Д. Саваренским в совместном докладе на выездной сессии ВАСХНИЛ в марте 1959 г. Эти предложения были развиты затем в работах [129, 131, 165].

В 1963—1965 гг. на орошаемых землях Кулундинской опытной станции (площадь орошаемого массива 48 га) были проведены исследования по влиянию числа поливов дождеванием на урожай сельскохозяйственных культур в различные по увлажнению годы (табл. 1.3). Почвы на участке каштановые супесча-

Таблица 1.3

Влияние числа поливов дождеванием на урожай сельскохозяйственных культур в различные по увлажнению годы

Культура	Урожай, т/га			
	богара (контроль)	при одном поливе ($M=350$ м ³ /га)	при двух поливах ($M=350+$ $+350=700$ м ³ /га)	при трех поливах ($M=350+$ $+350+350=$ $=1050$ м ³ /га)
1963 г. (засушливый — 75%-я обеспеченность осадками)				
Яровая пшеница	0,25	0,86	1,36	2,53
Кукуруза	1,0	—	1,95	—
1964 г. (средний — 50%-я обеспеченность осадками)				
Яровая пшеница без удобрений	1,32	—	1,8	2,2
Яровая пшеница с удобрением	—	—	3,0	—
Кукуруза (силос)	24,8	—	36,0	—
1965 г. (острозасушливый — 95%-я обеспеченность осадками)				
Яровая пшеница	0,2	0,85	1,29	2,4
Кукуруза (силос)	4,5	13,2	17,8	35,8
1977 г. (засушливый — 75%-я обеспеченность осадками)				
Яровая пшеница	0,48	1,65	2,18	2,94
Кукуруза (силос)	3,9	15,9	27,8	41,1
1979 г. (средний — 50%-я обеспеченность осадками)				
Яровая пшеница	1,53	2,14	2,84	3,99

ные. Дождевание осуществлялось с помощью установки ДДН-70, использовались пресные подземные воды нижнечетвертичного водоносного горизонта. В 1977—1979 гг. эти исследования были продолжены в колхозе им. Чкалова Бузулукского района Оренбургской области на среднесуглинистых южных черноземах (площадь орошаемого массива свыше 500 га). Результаты исследований показывают, что при дождевании яровой пшеницы (сорт Саратовская 29) поливной нормой нетто 350 м³/га при одном поливе в фазу кущения урожай повышается в 3—3,5 раза, при двух поливах (кущение+трубкование) и при трех поливах (кущение+трубкование+перед цветением) прибавка урожая составляет от 1,0—2,0 т/га в засушливые и острозасушливые годы до 0,5—1,0 т/га в средние по увлажнению годы. Такая солидная прибавка при орошении малыми нормами, по нашему мнению, получается потому, что растения обеспечиваются влагой именно в критические периоды их роста и развития, т.е. тогда, когда они больше всего в этом нуждаются. Об этом свидетельствуют также интересные данные об агрометеорологических условиях формирования урожая яровой пшеницы на разных этапах органогенеза (табл. 1.4).

322418
В степной засушливой зоне неблагоприятные погодные условия для выращивания яровой пшеницы сорта Саратовская 29 чаще всего складываются в период прохождения V—IX этапов органогенеза, т.е. в конце июня—начале июля. В это время, как правило, наблюдается недостаток почвенной влаги и растения нуждаются в поливах. Так, например, в Центральной Кулунде (Алтайский край) продуктивная влага в пахотном слое почвы (0—20 см) в 1967, 1968 и 1969 гг. отсутствовала, а в метровом слое ее запасы были ничтожными (15—30 мм). Максимальные температуры воздуха достигали 35—37°С, средний суточный дефицит влажности воздуха 27—33 гПа. Количество же осадков за май—июнь было незначительным (5—10 мм). Такие условия привели к большим потерям потенциальной продуктивности, а урожай составил 13—16% возможного [7].

Совсем иные условия выращивания яровой пшеницы на богаре складывались в 1972 г. Здесь на всех этапах органогенеза яровая пшеница не испытывала недостатка во влаге и был получен высокий урожай (2,8 т/га). Следовательно, при орошении малыми нормами (30—35 мм) в критические периоды роста растений (III—IV и V—IX этапы органогенеза) можно получить прибавку урожая зерновых культур в размере 1,0—2,0 т/га (см. также табл. 1.3).

В исследованиях, проведенных в Оренбургском политехническом институте и УралНИИВХ [190], доказана необходимость и экономическая целесообразность переброски части стока сибирских рек из Тургайского магистрального канала в бассейн р. Урал (Оренбургская и Челябинская области). Длина трасс переброски составляет от 280 до 450 км, а высота подъема 180 м. По одному из наиболее рациональных вариантов переброски

Таблица 1.4

Агрометеорологические условия формирования урожая яровой пшеницы
на разных этапах органогенеза (по данным С. Ф. Алексеевой
за 1967—1969 гг. и автора за 1972 г.)

Агрометеорологические элементы	1967 г.	1968 г.	1969 г.	1972 г.
III—IV этапы органогенеза				
Среднесуточная температура воздуха, °C	23	15	20	17
Сумма осадков за период, мм	1	1	3	18
Дефицит влажности воздуха, гПа	19	11	16	—
Продуктивная влага (мм) по слоям почвы, см				
0—20	5	4	4	20
0—100	30	60	90	70
V—VIII этапы органогенеза				
Среднесуточная температура воздуха, °C	20	22	24	23
Сумма осадков за период, мм	7	2	1	80
Дефицит влажности воздуха, гПа	20,0	22,6	27,9	—
Продуктивная влага (мм) по слоям почвы, см				
0—20	0	0	0	30
0—100	22	8	70	120
IX—XI этапы органогенеза				
Среднесуточная температура воздуха, °C	23	91	24	21
Сумма осадков за период, мм	31	89	13	40
Дефицит влажности воздуха, гПа	20,0	14,6	21,3	—
Продуктивная влага (мм) по слоям почвы, см				
0—20	1	3	2	25
0—100	15	16	18	80
Показатель продуктивности	1967 г.	1968 г.	1969 г.	1972 г.
Число зерновок	18	18	13	39
Фактический урожай, т/га	0,55	0,62	0,38	2,8
Расчетный урожай, т/га	3,7	4,0	3,0	3,0
Отношение фактического урожая к потенциальному, %	14	16	13	93

предполагается сначала орошать земли сравнительно плоского Тоболо-Сыпсанагашского водораздела и широкие надпойменные террасы Тобола. В степной части Зауралья сибирскую воду можно подать в бассейны рек Кумака, Ори и Иргиза для орошения пахотных угодий и обводнения пастбищ. К западу от Уральских гор в пределах Оренбургской области эта вода, текущая уже по руслу Урала, будет расходоваться для орошения левобережных приуральских равнин, занятых посевами зерновых и кормовых культур.

Реализация программ широкого развития орошения на базе использования водных ресурсов сибирских рек в Срединном регионе СССР (в том числе и на Урале) намечается на 1990—2020 гг. В связи с этим потребуются проведение комплексных научно-исследовательских работ с учетом всех основных природных и хозяйственных факторов, влияющих на формирование урожая основных сельскохозяйственных культур, также необходимы широкие научно-производственные опыты, основная цель которых заключается в том, чтобы на типичных почвах, пригодных к орошению, с помощью серийно выпускаемой, а также вновь создаваемой экономичной техники разработать и испытать технологию орошения и возделывания сельскохозяйственных культур и получить данные о возможности и экономической целесообразности применения таких технологий в зависимости от природно-хозяйственных условий той или иной зоны.

Глава 2. ВОДНЫЙ РЕЖИМ ПОЧВОГРУНТОВ ЗОНЫ АЭРАЦИИ

Основная задача сельского хозяйства в степной и лесостепной зонах Срединного региона — увеличение производства зерна и повышение продуктивности животноводства за счет роста кормовой базы. В настоящее время основной путь для решения этих задач — рост урожайности, что может быть осуществлено путем интенсификации сельского хозяйства и в первую очередь за счет развития орошаемого земледелия в степной зоне [82].

В СССР свыше 100 млн. га пахотных земель расположено в зоне недостаточного увлажнения, где основным лимитирующим фактором богарного земледелия является водный режим почвогрунтов зоны аэрации. Никакой другой фактор так сильно не влияет на рост и развитие растения, как количество продуктивной влаги в почве. Это положение особенно верно для каштановых и черноземных почв засушливой степной зоны юга Западной Сибири, Северного Казахстана и Зауралья, где недостаток влаги в почве способен парализовать влияние на урожай всех других элементов плодородия.

Большой вклад в изучение водного режима почв внесли

В. Г. Ротмистров, П. С. Коссович, А. А. Измаильский, В. В. Докучаев и В. Р. Вильямс, а в области водного режима растений — Н. А. Максимов и Н. С. Петин [150]. По водному режиму почв стали классическими работы [25, 27, 32, 64, 121, 148]. Обширный материал по водному режиму богарных почв степных и лесостепных районов Сибири приведен в монографиях [53, 69].

Водно-физические свойства почв северной и центральной частей Кулундинской степи исследовались почвенной экспедицией Биологического института Сибирского отделения АН СССР [148]. Данные по физике каштановых и черноземных почв в богарных условиях степной зоны опубликованы в работах [17, 53], а по засоленным почвам степи — в работах [147, 169]. Водный режим орошаемых каштановых почв Срединного региона освещен в исследованиях [22, 28, 148].

Основным расчетным показателем водно-физических свойств при выборе техники полива является водопроницаемость почв и подстилающих пород. При расчете режимов орошения в качестве исходных параметров используется влагообеспеченность сельскохозяйственных культур в начале и в конце вегетационного периода. Для изучения этих характеристик в степной и лесостепной зонах Западной Сибири (Алтайский край и Новосибирская область), Северного Казахстана (Павлодарская область) и Южного Урала (Курганская, Оренбургская и Челябинская области) проводились специальные лабораторно-полевые исследования. На Приобском плато и в Центральной Кулунде проводились комплексные исследования регулярного и лиманного орошения, а также определялся водно-тепловой баланс орошаемого и богарного полей яровой пшеницы и овощных культур. Детальный анализ водно-физических свойств почв проведен [134, 208] при проектировании опытно-производственных орошаемых участков в совхозе «Ключевской» Алтайского края, в совхозах «Петровский» и МОС ММК Челябинской области, в совхозе «Утятский» Курганской области. Обобщены также материалы полевых наблюдений в колхозе «За мир» Илекского района Оренбургской области (Городищенская оросительная система).

2.1. Водно-физические и мелиоративно-гидрологические свойства почв

Механический состав почв юга Западной Сибири весьма неоднороден. Каштановые почвы Центральной Кулунды и Павлодарского плато залегают на мощной толще песков и супесей, имеющих суглинистые прослойки, и представлены иловато-песчаными супесями (Ключи, Успенка), легкими и средними суглинками (Бурла). Наиболее распространены здесь (Славгород) легкосуглинистые, песчано-пылеватые почвы, содержащие в верхних горизонтах 20—30% частиц диаметром меньше 0,01 мм. На глубине 30 см и ниже содержание глины падает до 9—12%, а на

глубине 100 см и ниже в слоистой супесчаной толще часто наблюдаются более тяжелые по механическому составу прослойки [169].

Обыкновенные (южные) черноземы Приобского плато (Алтайский край и Новосибирская область) по механическому составу относятся к песчано-пылеватым (Завьялово), легким и средним суглинкам (Родио, Карасук), подстилаемым более легкими породами. Для механического состава степных черноземов Южного Урала характерно преобладание пылеватых фракций (40—70%). Содержание иловатых частиц варьирует по профилю почв от 10 до 34%.

Диапазон активной (продуктивной) влаги каштановых почв небольшой, мало изменяется по профилю и для легких почв центральных районов Алтайского края равен 8—13% (от объема) в пахотном горизонте и 11,6% в карбонатном. Влажность завядания (ВЗ), равная от 1,13 до 1,50 максимальной гигроскопичности (МГ), изменяется по профилю почвы от 3,4 до 4,3%. Запасы влаги, соответствующие влажности завядания, в слое 0—100 см равны 430 м³/га, или около 30% наименьшей влагоемкости [148].

Наименьшая влагоемкость (НВ) — потенциально возможный запас влаги, удерживаемый почвогрунтом без стекания в грунтовые воды [159]. Запасы влаги при наименьшей влагоемкости темно-каштановых почв для метрового слоя колеблются от 1300 до 1900 м³/га. Максимальные запасы продуктивной влаги для легкосуглинистых темно-каштановых почв колеблются около 850—1200 м³/га, а для среднесуглинистых составляют 1450—1600 м³/га [131].

Чередование в нижней части профиля темно-каштановых почв слоев с различным механическим составом, имеющих неодинаковую порозность, а наличие также уплотненных карбонатных горизонтов затрудняет капиллярное поднятие влаги. Поэтому в засушливые годы запасы продуктивной влаги в верхней толще почвы быстро истощаются, а из нижележащих слоев влага поступает слабо.

Почвенно-гидрологические показатели основных почв Обь-Иртышского междуречья рассмотрены в работе В. П. Панфилова [148]. За нижний предел увлажнения В. П. Панфилов принял влажность, соответствующую 50% НВ для супесчано-песчаных и супесчаных почв и 60% — для легко- и среднесуглинистых. Следует отметить, что нижний предел оптимальной влажности (влажность земледелия роста ВЗР — по Н. Ф. Бондаренко и по Б. Н. Мичурину, или влажность разрыва капиллярной связи ВРК — по С. И. Долгову и А. А. Роде) для каштановых почв (супеси) выше влажности завядания и составляет около 50% НВ, а для обыкновенных и южных черноземов (суглинки) равняется 65—70% НВ. Это необходимо учитывать при определении поливных и оросительных норм в степной зоне Среднего региона.

На основании экспериментальных данных В. П. Панфилова выяснилось, что высота капиллярного поднятия влаги для обыкновенных и южных черноземов составляет 120—200 см, а для каштановых и темно-каштановых супесчаных почв 100—120 см.

Среднесуглинистые почвы Приобского плато и Притоболья, по нашим данным, имеют более высокую водоудерживающую способность (НВ) — она равна 2700—2200 м³/га, а для супесчаных каштановых почв Северного Казахстана 1700 м³/га (табл. 2.1). Черноземы степного Зауралья и Южного Урала спо-

Таблица 2.1

Основные водно-физические и мелиоративные свойства почв степной зоны Срединного региона

Глубина, см	Плотность, г/см³	Объемная масса, г/см²	Порозность, % объема почвы	Влажность завя- дания, % объема почвы	Наименьшая влагоємкость, % объема почвы	Влажность замед- ления роста, % объема почвы	Запасы воды, м³/га				Ориентировочная поливная норма, м³/га
							при влажности завядания	при наимен- шей влагоєм- кости	наиболее усвояемые	продуктивные	
Маломощный южный чернозем, средний суглинок (Алтайский край)											
0—40	2,60	1,22	54,0	8,0	32,6	22,80	320	1306	392	986	400
0—60	2,63	1,24	53,0	8,0	29,8	20,85	465	1787	536	1322	550
0—80	2,63	1,25	53,0	8,0	28,2	19,70	602	2255	677	1653	650
0—100	2,64	1,26	52,0	7,8	27,1	18,95	729	2708	812	1979	800
Южный чернозем, тяжелый суглинок (Целиноградская обл.)											
0—40	2,35	1,10	53,3	15,35	33,67	23,56	634	1469	440,7	785	450
0—60	2,37	1,18	50,7	15,05	31,78	22,24	1069	2212	663,7	1143	650
0—80	2,39	1,24	48,5	14,72	30,37	21,25	1457	2947	884,1	1490	900
0—100	2,39	1,29	46,0	14,36	28,62	20,03	1850	3604	1081,2	1754	1050
Обыкновенный чернозем выщелоченный, средний суглинок (Курганская обл.)											
0—40	2,58	1,38	47	9,7	35,5	24,9	388	1420	424	1032	450
0—60	2,59	1,40	46	10,2	33,5	23,5	612	2010	600	1398	600
0—80	2,60	1,44	45	10,7	32,9	23,0	856	2632	792	1776	800
0—100	2,61	1,46	44	10,1	32,6	22,8	1010	3260	380	2250	1000

способны удерживать в верхнем метровом слое 250—350 мм воды (рис. 2.1). Столь высокая водоудерживающая способность черноземов обусловлена присутствием в них большого количества глинистых частиц (40—65%), из которых больше половины составляет иловатая фракция. Это важное свойство обыкновенных и южных черноземов имеет существенное значение в практике орошаемого земледелия степной зоны [54, 132].

В. П. Панфиловым было установлено, что в песчаных почвогрунтах при содержании физической глины от 4,6 до 8,5% высота капиллярного подъема грунтовых вод сравнительно невелика и составляет 30—90 см, а в супесях, содержащих до 11% глинистых частиц,— в среднем 110 см. Поэтому при иссушении верхнего полуметра легких каштановых почв, даже при сравнительно

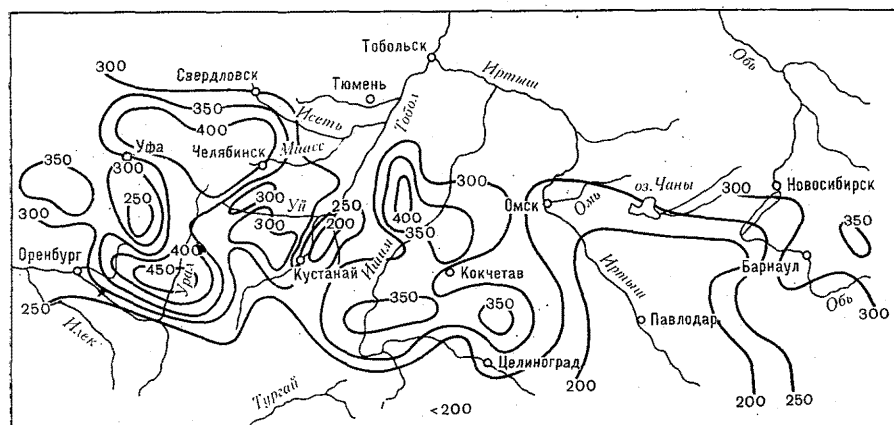


Рис. 2.1. Общие запасы влаги (мм) в верхнем метровом слое различных почв степной и лесостепной зон Среднего региона, соответствующие НВ, в период сева яровой пшеницы.

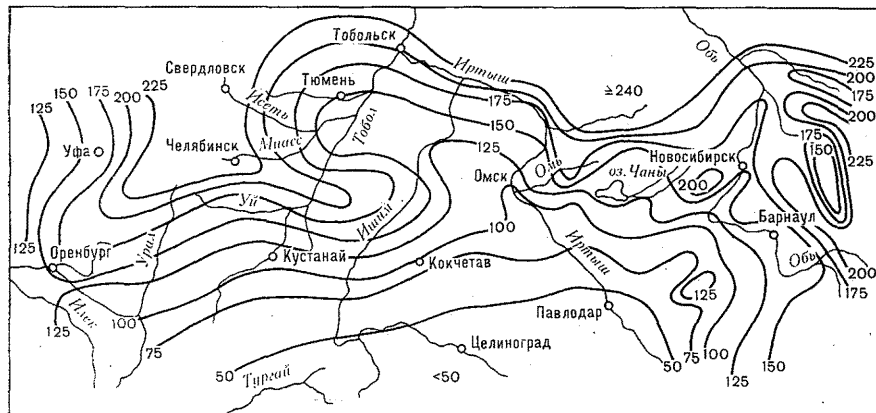


Рис. 2.2. Средние многолетние запасы продуктивной влаги (мм) в метровом слое почвы степной и лесостепной зон Среднего региона в период сева яровой пшеницы.

близком залегании зеркала грунтовых вод (2,5—3 м), никакой подпитки за счет капиллярной каймы не происходит, а растения страдают от недостатка влаги и крайне нуждаются в дополнительном увлажнении за счет орошения (рис. 2.2). В результате многолетних исследований автора на Южном Урале выяснилось,

что мощность капиллярной каймы на обыкновенных и южных черноземах глинистого и тяжелосуглинистого механического состава в степной зоне Оренбургской и Челябинской областей равна 2,5—3 м и даже 4,7 м, что также необходимо учитывать при выборе новых площадей орошения в Зауралье.

Современное состояние почвенно-физических условий в Западной Сибири, Южном Урале и Северном Казахстане показывает, что для широкого развития орошаемого земледелия наиболее перспективны каштановые почвы легкосуглинистого и супесчаного механического состава, встречающиеся в западной части Алтайского края и в Оренбуржье. Эти почвы уплотнены, оптимально аэрированы, имеют крупные поры и достаточно хорошую водопроницаемость. Кроме того, они совершенно не засолены, залегают сравнительно большими массивами и подстилаются, как правило, мощной толщей супесчано-песчаных отложений, что обеспечивает достаточно хорошую естественную дренированность и будет препятствовать вторичному засолению и заболачиванию.

В направлении от лесостепной к сухостепной зоне механический состав автоморфных почв сменяется средне- и легкосуглинистым и супесчаным; уменьшаются гумусность и общая порозность. Соответственно снижается наименьшая влагоемкость и диапазон активной влаги почв. Орошение южных солонцеватых тяжелосуглинистых черноземов (Ишим-Иртышское междуречье) может привести к созданию гидроморфных условий в почвенном профиле, а в отдельных случаях — к развитию вторичного засоления и заболачивания.

2.2. Водопроницаемость почв и грунтов

Водопроницаемость — важнейшее свойство почвы, определяющее ее водный режим. Данные о водопроницаемости позволяют сделать выбор рационального вида поливной техники на проектируемых под орошение землях и допустимую интенсивность дождевания. Водопроницаемость в значительной степени определяет водный баланс почвы, в том числе поверхностный сток, поэтому исследование этого свойства почвы необходимо и в гидрологической практике.

Подробное изложение теоретических исследований по вопросу водопроницаемости почв можно найти во многих работах [5, 29, 98, 137, 159]. На основании обобщения данных литературных источников и материалов многолетних собственных исследований Г. В. Назаров пришел к выводу, что прямая связь между свойствами механических элементов, слагающих почвы, и водопроницаемостью отмечается для почв легкого механического состава (пески, супеси) и для тяжелых, но совершенно бесструктурных почв. Водопроницаемость же структурных почв определяется не механическим составом, а их структурно-агрегатным состоянием.

В обстоятельной монографии Г. В. Назарова [137] подробно освещается влияние дренажа, орошения, микрорельефа и экспозиции склона на инфильтрационную способность почв и грунтов. Наименьшая водопроницаемость отмечена на залежи и под многолетними травами, а также на стерне озимой пшеницы, посеянной по черному пару. Наибольшая водопроницаемость почвы в опытах Г. В. Назарова была на черном пару и на посевах яровых культур. Эти выводы, по нашему мнению, интересны не только для гидрологов и почвоведов, но и для агрометеорологов, мелиораторов, агроэкономистов, проектирующих ирригационные мероприятия на различных сельскохозяйственных угодьях.

Опыты по изучению водопроницаемости проводились И. С. Шаховым [198] в Башкирской АССР на маломощном легкосуглинистом черноземе, а В. А. Шумовым и Н. А. Мосиенко [208] в Челябинской области на черноземе обыкновенном среднегумусовом, маломощном, средне- и тяжелосуглинистом (совхоз «Петровский» Красноармейского района). Было установлено, что поглощение воды почвой связано не только с ее порозностью, структурностью, механическим составом, но и с исходной влажностью, а фильтрация воды в почву на первых стадиях опытов совершается тем быстрее, чем ниже исходная влажность (табл. 2.2).

Таблица 2.2

Средняя скорость впитывания v мм/мин в почву за первый час опыта и отвечающая ей относительная влажность f_n % от объема

Номер разреза	Генетический горизонт							
	$A_{\text{пах}}$		AB		B		C	
	f_n	v	f_n	v	f_n	v	f_n	v
14	60	10,95	Не опр.	Не опр.	66	2,91	70	0,37
35	60	11,18	Не опр.	Не опр.	73	1,75	Не опр.	Не опр.
44	65	8,66	67	1,90	67	2,43	70	0,31
69	65	7,45	65	4,71	65	3,12	65	1,11
92	68	5,87	68	2,49	70	2,22	70	0,36

Относительная влажность почвы по Н. А. Качинскому — отношение содержания влаги в данный момент к количеству воды, насыщающей почву до НВ. Следовательно, относительная влажность дает представление о степени насыщенности почвы водой. Из данных табл. 2.2 видно, что при увеличении относительной влажности пахотного горизонта $A_{\text{пах}}$ с 60 до 70% скорость впитывания снизилась в два раза. Еще более существенное изменение водопроницаемости наблюдается в почвообразу-

ющей породе (гор. С), где возрастание относительной влажности с 65 до 70% вызвало снижение скорости впитывания в три раза.

Данные о водопроницаемости черноземных почв Северной Кулунды и Приобского плато были получены нами методом заливаемых площадок (1 м^2) с напором воды на поверхности почвы 5 см [124]. Эти данные получены при опытах на пахотном горизонте [0—20 см].

В 1961—1963 гг. в Кулундинской комплексной экспедиции Сибирского отделения АН СССР под руководством и при участии автора был проведен цикл исследований с помощью экспериментальной дождевальной установки (рис. 2.3). Задача этих исследований заключалась в определении составляющих водного баланса почвогрунтов в зоне аэрации различных геоморфологических районов Кулундинской степи. Одновременно с этим определялись инфильтрационные свойства почвогрунтов в различных районах Обь-Иртышского междуречья. В наших опытах влажность почвы была сравнительно низкой и составляла от 30 до 40% наименьшей влагоемкости [131].

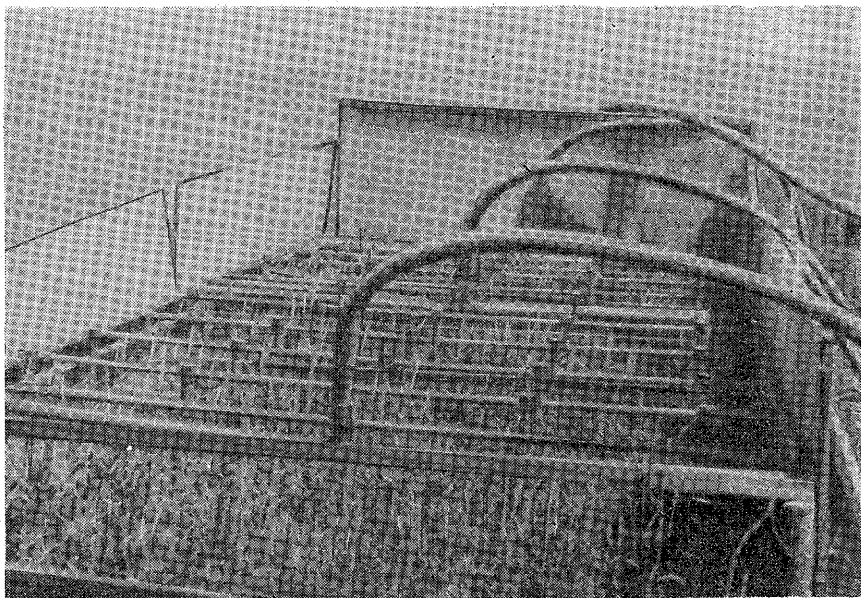


Рис. 2.3. Экспериментальная дождевальная установка (Центральная Кулунда, 1962 г.).

По результатам опытов выявлен ряд особенностей в водопроницаемости почв и грунтов. Коэффициенты фильтрации, полученные с помощью ПВН и дождевальной установки, в основном близки между собой. Интенсивность впитывания за первый час по ПВН значительно выше, чем при дождевании. Это объясняется тем, что инфильтрометром ПВН определяется максимальное

количество воды, которое данный слой почвы способен впитать и профильтровать через себя в определенное время. А. И. Субботин [179] рекомендует интенсивность впитывания воды в почву и интенсивность дождевания условно приравнивать между собой.

Наиболее высокой установившейся фильтрацией (0,287—0,162 см/мин) обладают верхние гумусовые горизонты супесчаных и легкосуглинистых каштановых почв Центральной Кулунды и Павлодарского плато. Нижние карбонатные и суглинистые горизонты этих почв с глубины 80—200 см более плотные и имеют сравнительно низкую проницаемость (0,011—0,063 см/мин). При больших поливных нормах и применении поверхностных способов орошения (полив по бороздам и напуском по полосам) здесь не исключена возможность образования верховодок.

Наименьшей водопроницаемостью обладают содовые солончаки, в которых установившаяся (через 24 ч) скорость просачивания воды составляет 0,002—0,004 см/мин. Среднее положение по водопроницаемости между каштановыми почвами и солончаками занимают маломощные южные черноземы (скорость просачивания воды — от 0,014 до 0,067 см/мин).

Таким образом, можно утверждать, что дождевание почв легкосуглинистого и среднесуглинистого механического состава в условиях Обь-Иртышского междуречья должно осуществляться с интенсивностью не более 0,5—0,8 мм/мин, а тяжелосуглинистого 0,2—0,4 мм/мин.

Динамика впитывания воды на орошаемых темно-каштановых почвах при поливе дождеванием неодинакова. Скорость впитывания воды существенно изменяется не только в зависимости от давности распашки, но также и в течение вегетационного периода в связи с применяемой агротехникой и способами орошения (табл. 2.3). После первого полива дождеванием с помощью короткоструйной дождевальной установки (поливная норма

Таблица 2.3

Скорость впитывания воды (см/мин) до проведения первого полива и после его осуществления (полив дождеванием, 1964 г.)

Полив	Период после полива, мин									Установившаяся скорость
	5	10	20	30	40	60	120	180	240	
До полива	1,0	0,61	0,42	0,31	0,22	0,16	0,15	0,14	0,14	0,14
После первого полива	0,42	0,29	0,18	0,10	0,10	0,11	0,08	0,08	0,08	0,08
После третьего полива	0,31	0,24	0,15	0,09	0,08	0,07	0,07	0,06	0,06	0,06

Примечание. Почва — темно-каштановая (супесь), с. Ключи, Кулундинская опытная станция. Посев пшеницы. Влажность поверхностных слоев почвы (0—20 см) во всех случаях к началу опыта была сравнительно небольшой и составляла до полива 40% НВ; после первого полива 42% НВ, после третьего полива 39% НВ.

300—350 м³/га) скорость впитывания воды в первый же год освоения орошаемой территории снижается в 1,5—2 раза, а после третьего полива — в 2—2,5 раза.

Оценивая сравнительные данные по водопроницаемости черноземов, занятых целиной, многолетними травами и пашней 22-летнего пользования, нетрудно заметить, что скорость фильтрации с поверхности (0—10 см) максимальна на старопашке и минимальна под многолетними травами [208]. Через поверхностный слой 0—10 см за первый час просочилось на выщелоченных, типичных, обыкновенных и южных солонцеватых черноземах соответственно 135,5; 120,0; 320 и 144,5 мм воды — на целине, 50,5; 97,5; 75,0 и 40,6 мм — на многолетних травах, 251,1; 216,7; 432,5 и 63,0 — на старопашке. Наиболее низкая водопроницаемость почв отмечена на многолетних травах и объясняется уплотнением поверхностного 10-сантиметрового слоя, снижением в нем активной порозности.

На старопашотных черноземах, несмотря на общее незначительное увеличение плотности, снижение структурности и общей скважности, показатели водопроницаемости в 1,5—3,0 раза выше, чем на целине. Причину этого противоречия следует, видимо, искать в ухудшении активной порозности поверхностного слоя (0—5 см), которое наступает на целине при выпасе скота.

Таким образом, изученные черноземы Южного Урала и Зауралья до распахки обладают сравнительно хорошей водопроницаемостью. Высокая водопроницаемость выщелоченных, типичных и обыкновенных черноземов способствует накоплению запасов продуктивной влаги, предотвращает поверхностный сток и ирригационную эрозию при дождевании.

Приведем данные о водопроницаемости черноземных почв степной зоны Курганской и Челябинской областей, полученные нами в экспедиции УралНИИВХ (1974—1979 гг.). Исследования были проведены на почвогрунтах с исходной влажностью 0,4 НВ (табл. 2.4). Наибольшая влагопроницаемость под многолетними травами наблюдалась на среднесуглинистом черноземе, на выщелоченных черноземах она была на 40% ниже. Еще меньше была водопроницаемость солонцеватого чернозема.

Данные Г. В. Назарова [138] по Троицкому заповеднику показали, что водопроницаемость обыкновенных черноземов выше, чем глубоких солонцов: на целинном участке в 2,8 раза, на участке с многолетними травами всего на 10%. На черноземах водопроницаемость почвы целинного участка была в 2,5 раза выше, чем на травах. Все это еще раз подтверждает, что водопроницаемость почвы определяется не только механическим составом, но и в большей степени ее генетическим типом и характером сельскохозяйственного использования.

Из табл. 2.4 видно, что изменчивость водопроницаемости колеблется в пределах от 27 до 79% для первого часа (8 опытов) и от 29 до 68% — для второго часа (7 опытов).

Водопроницаемость черноземных почв в зависимости от их механического состава

Таблица 2.4

Место проведения опыта	П о ч в а	Сельхозугодие	<i>n</i>	<i>M</i>	<i>m</i>	σ	<i>v</i>	<i>P</i>	$\bar{n}$	α
Совхоз «Утятский», Кетовского района, Курганской области	Выщелоченный, солонцеватый, тяжело-суглинистый чернозем	Чистый пар	8	0,84	0,16	0,46	57	16,3	15	0,81
				0,49	0,11	0,24	54	15,8	14	0,78
Совхоз МОС, Агаповского района Челябинской области	Южный тяжело-суглинистый чернозем	Занятый пар	6	1,37	0,18	0,76	52	15,4	13	0,75
				0,81	0,11	0,51	59	17,3	16	0,69
Совхоз «Петровский» Красноармейского района	Выщелоченный маломощный, среднесуглинистый чернозем	Многолетние травы (пастбища)	10	0,16	0,11	0,24	27	12,5	5	0,94
				0,98	0,08	0,23	29	18,9	5	0,91
Колхоз им. Шевченко, Октябрьского района	Среднесуглинистый чернозем	Многолетние травы (сенокос)	12	1,90	0,37	1,15	79	25,0	20	0,62
				1,50	0,28	0,93	68	24,0	23	0,59
Троицкий заповедник, Троицкий район (данные Г. В. Назарова, 1977)	Чернозем обыкновенный	Многолетние травы	6	1,30	0,24	0,58	44	18,5	10	0,68
				0,84	0,15	0,38	55	17,8	10	0,67
		Целина	6	3,44	0,47	1,14	33	13,6	6	0,80
				—	—	—	—	—	—	—
	Солонец	Многолетние травы	6	1,18	0,23	0,57	48	19,5	11	0,60
				0,75	0,19	0,47	62	25,4	7	0,54
	Целина		6	1,25	0,15	0,33	29	12,0	5	0,84
				0,48	0,10	0,24	50	20,8	12	0,64

Примечание. *n* — число повторностей, *M* — среднее арифметическое опыта (1-я строка — средняя скорость впитывания за первый час, мм/мин, 2-я строка — за второй час опыта), *m* — средняя ошибка среднего арифметического, σ — среднее квадратическое отклонение, *V* — коэффициент вариаций, %, *P* — точность опыта, %, $\bar{n}$ — необходимое число повторностей при 80 %-м уровне вероятности ($\Delta=20\%$), α — уровень вероятности полученных данных, Δ — относительная вероятная погрешность.

Вероятность данных по водопроницаемости почв при относительной погрешности, равной 20%, в двух случаях из 15 равна или превышает 0,90, в пяти случаях — 0,80, в 13 случаях — 0,60. Таким образом, только в 33 случаях удалось обеспечить 80%-й уровень вероятности получаемых данных.

Обобщение данных по водопроницаемости черноземных почв степной зоны юга Западной Сибири (Алтайский край) и Южного Урала (Курганская и Челябинская области) показывает, что во время весеннего снеготаяния на сельскохозяйственных угодиях малых водосборов непременно должен быть интенсивный поверхностный сток и это необходимо учитывать при проектировании участков орошения.

2.3. Промерзание и оттаивание почвогрунтов

Промерзание почвы оказывает большое влияние на природу района — климат, почву, растительность — и на некоторые виды деятельности человека — сельское хозяйство, транспорт, строительство и т. д.

Исследования промерзания почвы на сельскохозяйственных полях проводились в Родиновском районе Алтайского края на трех опытных площадках, из которых две расположены на полях колхоза им. Дзержинского, а одна — в лесной полосе, прилегающей к этим полям [122]. Кроме того, были проведены наблюдения за характером оттаивания почв на мелководных склоновых лиманах, расположенных на землях колхоза им. Карпинского, в 10 км от метеостанции Родино (в настоящее время здесь расположены сельхозугодия целинного совхоза «Первомайский»).

Место исследований, относящееся к району Приобского плато, представляет собой участок со слаборасчлененным рельефом, элементы которого значительно сглажены по сравнению с другими участками. Поверхностные отложения представлены лессовыми суглинками. Легкие суглинки подстилаются синевато-серыми пластичными глинами, которые относятся к нижнетретичным образованиям. Эти третичные глины прикрыты слоистыми песками, которые по водоразделам плато достигают сравнительно большой мощности. Пески неправильно переслаиваются более глинистыми грунтами, вследствие чего возникают сезонные колебания зеркала грунтовых вод.

1-я площадка располагалась на целине; почва ее — южный чернозем среднесуглинистый; рельеф — весьма пологий, склон — юго-восточный.

2-я площадка была расположена в средней части западного склона; почва — глинисто-пылеватый южный чернозем. Осенью 1953 г. на этом участке была посеяна озимая рожь по стерне; высота стерни 10—15 см. В июле 1954 г. на этой площадке были посеяны двухстрочные кулисы из подсолнечника, а осенью 1955 г. площадка была распахана под зябь.

3-я площадка — в лесной полосе посадки 1949 г. Лесная полоса — ажурного типа, без подлеска; почва — легкосуглинистый чернозем.

Почвы участка лиманного орошения относятся к луговым и лугово-черноземным. Эти почвы выщелочены до глубины 55—80 см и по механическому составу легче более глубоких слоев; их можно отнести к средним суглинкам. Грунтовые воды на площадках залегают на глубине 5—6 м, а на склоновых лиманах — на 3,5—4 м и глубже.

Наблюдения за глубиной промерзания велись методом закладки шурфов (каждый раз на новом месте), а на участках с небольшой глубиной промерзания (стерня, лесная полоса) — буровым методом. Наблюдения начинались с начала заморозков и проводились три раза в месяц. Данные о температуре воздуха и об осадках, необходимые для анализа наблюдений, взяты нами из материалов метеостанции Родино. Кроме того, были проведены комплексные наблюдения за характером снежного покрова, влажностью почвы (в лесополосе) и за температурами почв на разных глубинах (табл. 2.5).

В особо суровые зимы промерзание не останавливается на нижней границе промачивания почв осенними осадками, а проникает и в иссушающие горизонты. Из данных табл. 2.5 следует, что глубина и скорость промерзания почвы зависят от мощности снежного покрова и растительности. При маломощном снежном покрове (18 см) на 1-й площадке почва промерзала почти в три раза быстрее и на большую глубину, чем на 2-й площадке (стерня), где мощность снежного покрова была значительно больше (45 см). Что же касается 3-й площадки (лесополоса), то здесь защитное влияние леса весьма заметно, в результате чего почва промерзла всего лишь на 34 см (1954 г.).

Наблюдения над оттаиванием почв проводились также методом бурения. На склоновых лиманах, залитых водой (25—30 см), глубина оттаивания определялась по пентадам при помощи стального стержня толщиной в 1 см, имеющего на конце ромбовидное расширение. Благодаря этому расширению стержень при легком постукивании деревянным молотком задерживался над верхней границей мерзлого слоя.

Оттаивание почвы начиналось лишь после схода снежного покрова. Происходило оно преимущественно сверху, причем не только на открытом поле, но и в лесной полосе, где промерзание было сравнительно неглубоким. Средние скорости оттаивания почвы на полях в четыре-пять раз, а в лесной полосе в шесть раз превышали скорости промерзания. Продолжительность оттаивания почв была наименьшей в лесной полосе (20 дней) и наибольшей на целине (54 дня), что полностью соответствовало глубине промерзания.

Глубокое зимнее промерзание и пониженная водопроницаемость почв в период снеготаяния ведут к тому, что южные среднесуглинистые черноземы Приобского плато (Алтайский край)

Промерзание и оттаивание почвы на Приобском плато (Алтайский край)

Пункт наблюдения	Дата начала промерзания	Дата окончательного оттаивания	Наибольшая глубина промерзания, см	Сумма отрицательных температур воздуха, °C	Среднесуточная скорость промерзания, см	Дата начала оттаивания	Продолжительность оттаивания, дни	Глубина, на которой закончилось оттаивание, см	Сумма положительных температур воздуха, °C	Среднесуточная скорость оттаивания, см	Толщина снежного покрова, см	Средняя плотность снежного покрова, г/см³
1953—1954 гг.												
1-я площадка, целина	10 XI	10 V	147	2572	0,81	5 IV	35	135	91,5	3,68	18	0,30
2-я площадка, стерня	10 XI	30 IV	56	2572	0,27	7 IV	23	55	37,6	2,44	45	0,27
3-я площадка, лесополоса	10 XI	20 IV	34	2572	0,18	10 IV	20	32	37,6	1,70	74	0,28
Мелководный лиман, целина	—	15 V	102	—	—	7 IV	38	100	98,4	2,67	29	0,29
Мелководный лиман, забь	—	10 V	94	—	—	5 IV	35	87	95,4	2,47	28	0,29
1954—1955 гг.												
1-я площадка, целина	5 XI	10 IV	219	2604	1,18	31 III	40	189	181,1	5,48	10	0,28
2-я площадка, кулисы	5 XI	1 V	65	2604	0,38	28 III	33	63	147,2	2,00	38	0,27
3-я площадка, лесополоса	5 XI	30 IV	58	2604	0,33	28 III	32	54	141,4	1,83	67	0,28
Мелководный лиман, целина	—	20 V	145	—	—	1 IV	50	131	212,4	2,90	27	0,30
Мелководный лиман, забь	—	15 V	138	—	—	30 III	46	127	197,5	3,00	24	0,30

Пункт наблюдения	Дата начала промерзания	Дата окончательного оттаивания	Наибольшая глубина промерзания, см	Сумма отрицательных температур воздуха, °С	Среднесуточная скорость промерзания, см	Дата начала оттаивания	Продолжительность оттаивания, дни	Глубина, на которой закончилось оттаивание, см	Сумма положительных температур воздуха, °С	Среднесуточная скорость оттаивания, см	Толщина снежного покрова, см	Средняя плотность снежного покрова, г/см³
1955—1956 гг.												
1-я площадка, целина	1 XI	15 V	237	2712	1,22	30 III	46	198	201,6	5,18	5,6	0,30
2-я площадка, зябь	2 XI	10 V	191	2712	1,01	29 III	42	154	187,3	4,54	13	0,28
3-я площадка, лесополоса	2 XI	3 V	72	2712	0,38	1 IV	33	66	149,4	2,08	62	0,27
Мелководный лиман, целина	—	13 V	154	—	—	1 IV	43	142	189,7	3,58	24	0,29
Мелководный лиман, зябь	—	10 V	148	—	—	31 III	40	131	183,6	3,69	29	0,29
1956—1957 гг.												
1-я площадка, целина	7 XI	25 V	248	2842	1,44	2 IV	54	205	224,5	4,59	12	0,29
2-я площадка, зябь	7 XI	20 V	202	2842	1,32	30 III	50	168	206,4	4,04	18	0,30
3-я площадка, лесополоса	9 XI	2 V	62	2842	0,28	4 IV	29	57	157,3	2,144	60	0,27

характеризуются сравнительно неглубоким весенним промачиванием и недонасыщенностью влагой, хотя количество осенне-зимне-весенних осадков значительно превышает весенний дефицит влаги в активном слое почвы. Примерно 50—65% (80—115 мм) осенне-зимне-весенних осадков используются непродуктивно (физическое испарение и поверхностный сток), а урожайность сельскохозяйственных культур ставится в прямую зависимость от количества весенне-летних осадков (май—июнь).

Успешное регулирование водного и теплового режимов пахотных почв юга Западной Сибири и Зауралья в большой степени зависит от учета динамики сезонного промерзания и оттаивания, повышения впитывающей способности почв, особенно в период снеготаяния, и усиления их прогрева в весенне-летний период. Покрытие почвы мелким слоем воды (глубина слоя воды в опытных лиманах не превышала 30 см) не ускоряет хода оттаивания, так как при сравнительно большой инсоляции в весенний период почвы на богаре прогреваются быстрее, чем почвы, покрытые водой.

2.4. Влагообмен грунтовых вод с зоной аэрации

При сравнительно близком залегании зеркала грунтовых вод (менее 3 м) доля участия их в суммарном испарении (водопотреблении) сельскохозяйственным полем зависит, как известно, от глубины залегания водоносного горизонта, литологии и водно-физических свойств почвогрунтов зоны аэрации, глубины распространения корневой системы возделываемых культур.

При определении роли грунтовых вод (или верховодки) в снабжении культурных растений влагой наиболее правильным, по-видимому, будет количественная их оценка в долях от суммарного водопотребления. Если при определении количества используемых грунтовых вод (влагообмен в зоне аэрации) не учитывается тип возделываемых культур, продолжительность периода вегетации, климатические и теплоэнергетические ресурсы природной зоны, то полученные результаты, как правильно заметил Н. В. Данильченко [60], не могут считаться достоверными.

Из имеющихся рекомендаций количественной оценки роли грунтовых вод заслуживают внимания публикации [2, 40, 83, 88, 103, 153, 158, 189].

С. Ф. Аверьянов [2] для определения расхода грунтовых вод в зону аэрации K предложил формулу

$$K = E_0 \left(1 - \frac{H}{H_{кр}} \right)^n, \quad (2.1)$$

где $H_{кр}$ — критическая глубина залегания грунтовых вод, при которой начинается испарение; n — показатель степени, изменяющийся от 1 до 2; H — глубина залегания грунтовых вод, см; E_0 — испаряемость.

В. А. Ковда [88] для суглинистых почвогрунтов рекомендует формулу, с помощью которой можно определять критическую глубину

$$H_{кр} = 170 + 8t, \quad (2.2)$$

где t — среднегодовая температура воздуха, °С.

На основе теоретических положений и обобщения фактических данных по лизиметрам С. И. Харченко [189] предложил формулу для расчета расхода грунтовых вод в зону аэрации (мм/сутки)

$$K = \frac{E_0}{e^{mH}}, \quad (2.3)$$

где e — основание натуральных логарифмов; m — параметр, зависящий от фаз развития растений и водно-физических свойств почвы. Формула Харченко выгодно отличается от других и обладает тем преимуществом, что содержит всего лишь один параметр m , для определения которого С. И. Харченко построены графики и номограммы [189].

Формула (2.3) справедлива для различных сельскохозяйственных культур как в богарных, так и в орошаемых районах при залегании грунтовых вод на глубинах от 0,1 до 5 м от поверхности. Ошибки расчета K по формуле Харченко составляют от 20% (богарные земли) до 24% (орошаемые).

В. В. Рогоцкий [158] предложил для определения K графическую зависимость, в которой показано, что в случае неустановившегося режима влагообмена на расход грунтовых вод в зону аэрации существенно влияет не только изменение во времени влагозапасов, но и их распределение по глубине.

Фактические данные, приведенные в работах Д. М. Каца [83] и Л. Н. Побережского [153], соответствуют слабой минерализации грунтовых вод (3 г/л). Если же она превышает 6—12 г/л, растения угнетаются и мало используют грунтовые воды независимо от глубины их залегания, а рост вязкости грунтовых вод сокращает их расход в зону аэрации при самых благоприятных условиях [86, 89].

Водно-солевой режим орошаемых почв при сравнительно неглубоком залегании грунтовых вод (менее 3 м) определяется в основном влагообменом в системе грунтовые воды — зона аэрации. От интенсивности и направления этих процессов, как отмечает С. Ф. Аверьянов [2], зависит мелиоративное состояние сельскохозяйственных угодий.

В естественных условиях изучение условий влагообмена, влаго- и солепереноса в зоне аэрации крайне затруднительно из-за колебания уровня грунтовых вод и боковой приточности. Наиболее доступным методом изучения процессов влагообмена, влаго- и солепереноса в зоне аэрации является лизиметрический метод [38, 111, 117, 136].

Рассмотрим материалы исследований А. А. Сенькова [172], выполненные под руководством и при участии проф. П. С. Панина

в Центральной Кулунде (Ключевский район Алтайского края) в 1975—1976 гг. Исследования проводились в трехкратной повторности на лизиметрической площадке, состоящей из 36 лизиметров. Из них 18 лизиметров (площадью 0,64 м²) были заполнены монолитами супесчаной каштановой почвы, другие 18 лизиметров (площадью 0,38 м²), насыпные, были послойно заполнены среднесуглинистым южным черноземом. Высота капиллярного поднятия в каштановой почве равнялась 110 см, в южном черноземе 170 см. Грунтовые воды в лизиметрах имели соответственно минерализацию 0,4 и 5,0 г/л и автоматически поддерживались на глубинах 1,2 и 3 м. Исследования проводились на фоне орошаемой яровой пшеницы сорта Саратовская 29.

Два цикла круглогодичных исследований режима влагообмена между почвой зоны аэрации и грунтовыми водами позволили А. А. Сенькову и П. С. Панину выявить, что в летне-осенне-зимний период идет преимущественно расход грунтовых вод в зону аэрации, а в весенний период — их пополнение. В расходном периоде выделены испарительно-десуктивная, восстановительная и криогенная фазы.

Основная доля расхода грунтовых вод в зону аэрации при близком их залегании приходится на испарительно-десуктивную фазу, продолжительность которой ограничивается вегетационным периодом яровой пшеницы (табл. 2.6). Из данных табл. 2.6 также следует, что грунтовые воды, залегающие на глубине 1—3 м, в условиях Центральной Кулунды, большую часть года находятся в расходном режиме, а почвогрунты зоны аэрации в связи с этим — в режиме засоления.

В 1970—1980 гг. автором [135], М. И. Степановой [177] и А. А. Дерингером [62] аналогичные исследования были проведены на Южном Урале. Наблюдения были организованы на лизиметрических площадках, которые имитируют влагообмен в зоне аэрации при различных уровнях залегания грунтовых вод (0,5; 1,0; 1,5; 2,0; 2,5; 3,0 и 3,5 м), в различных природно-климатических зонах: лесостепная зона — Оренбургская область (колхоз «За мир» Илекского района); Челябинская область (совхоз «Петровский» Красноармейского района, совхоз МОС ММК Агаповского района); степная зона — Курганская область (совхоз «Утятский» Кетовского района).

В Оренбуржье лизиметрические исследования проводились в течение 11 лет, а в других пунктах — в течение 4—5 лет. Почвы — средне- и тяжелосуглинистые (выщелоченные черноземы) и легкосуглинистые (обыкновенные черноземы).

Опытный участок в колхозе «За мир» Илекского района Оренбургской области является полем орошаемого кормового севооборота. В соответствии с чередованием сельскохозяйственных культур в севообороте поле было занято: в 1970 г. — кукурузой на силос; в 1971 г. — яровой пшеницей с подсевом люцерны; в 1972 и 1973 гг. — люцерной на сено, в 1974 и 1975 гг. — кукурузой на силос, в 1976 и 1977 гг. — суданской травой, в 1978, 1979

и 1980 гг. — люцерной на сено. В Курганской и Челябинской областях опытные участки, где были построены воднобалансовые и лизиметрические площадки, были заняты полем орошаемого овощного севооборота (капуста и картофель).

Таблица 2.6

**Водный баланс зоны аэрации в период вегетации
яровой пшеницы Саратовская 29 в 1975 г. (по А. А. Сенькову)**

Уровень грунтовых вод, м	Элементы водного баланса зоны аэрации, мм					Суммарное испарение, мм
	расход грунтовых вод	полив	осадки	расход влаги почвы	инфильтрация	
Южный чернозем						
Минерализация грунтовой воды 0,4 г/л						
1	772	25	57	5	10	849
2	372	240	57	76	—	745
3	144	240	57	190	—	631
Минерализация грунтовой воды 5,0 г/л						
1	592	25	57	5	13	666
2	270	240	57	76	—	643
3	128	240	57	190	—	615
Каштановые почвы						
Минерализация грунтовой воды 0,4 г/л						
1	580	25	57	2	21	643
2	203	240	57	43	—	543
3	21	240	57	112	—	430
Минерализация грунтовой воды 5,0 г/л						
1	522	25	57	—	19	585
2	152	240	57	43	—	492
3	20	240	57	112	—	429

По метеорологическим условиям годы исследования были следующими: 1970, 1973, 1976 и 1979 — средневлажные; 1971, 1974, 1975, 1977 и 1979 — среднезасушливые и 1972 — острозасушливый. На основе анализа наших исследований на лизиметрических воднобалансовых участках было установлено, что количество грунтовых вод, используемых той или иной орошаемой культурой, следует оценивать по экспериментальным данным лизиметров, а при отсутствии их — по выражению

$$W_{\Gamma} = E_{\text{в}} K_{\Gamma}, \quad (2.4)$$

где W_{Γ} — используемые грунтовые воды; $E_{\text{в}}$ — суммарное водопотребление; K_{Γ} — коэффициент грунтовых вод в долях от суммарного водопотребления.

Коэффициенты использования грунтовых вод, по осредненным данным наших исследований, представлены в табл. 2.7. В сумме за весь период вегетации расход грунтовых вод в зону аэрации различен под разными культурами не только из-за различной продолжительности их вегетационного периода, но и вследствие различий в метеорологических условиях, а также из-за биологических особенностей каждой культуры в отдельности (например, иссушающее действие корневой системы).

Таблица 2.7

Осредненные значения коэффициентов использования грунтовых вод по материалам фактических наблюдений на Урале

Культура	Глубина активного слоя, м	Глубина залегания грунтовых вод, м						
		0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5
Супеси и легкие суглинки (каштановые и обыкновенные черноземы)								
Пропашные и овощные	0,4—0,6	0,65	0,40	0,20	0,10	—	—	—
Зерновые	0,8	0,85	0,50	0,30	0,15	0,03	—	—
Люцерна и другие мно- голетние травы	1 м и бо- лее	1,0	1,0	0,70	0,40	0,12	0,08	0,03
Средние и тяжелые суглинки (выщелоченные и южные черноземы)								
Пропашные и овощные	0,4—0,6	0,80	0,45	0,25	0,15	0,05	—	—
Зерновые	0,8	0,90	0,55	0,35	0,20	0,08	0,03	—
Люцерна и другие мно- голетние травы	1 м и бо- лее	1,0	1,0	0,80	0,60	0,27	0,15	0,05

Обобщение литературных источников и результаты наших многолетних исследований на лизиметрических и воднобалансовых площадках в степной и лесостепной зонах Южного Урала и Западной Сибири позволили утверждать, что расход грунтовых вод в зону аэрации зависит от следующих факторов:

- при установившемся режиме влагообмена он определяется как некоторая часть суммарного испарения (табл. 2.6), которая в свою очередь зависит от вида растения, фазы его развития и водно-физических свойств почвогрунтов;
- при неустановившемся режиме влагообмена необходима оценка степени увлажнения почвогрунтов зоны аэрации;
- существует определенная критическая точка (диапазон) влагозапасов перехода от нисходящего потока к восходящему влагопереносу.

Учитывая эти закономерности, автор и А. А. Дерингер [134] предприняли попытку построить расчетную схему расхода грун-

товых вод в активный слой почвогрунтов для орошаемых массивов Южного Урала. В качестве теплоэнергетического фактора формирования расхода грунтовых вод в зону аэрации вместо E_0 принята температура воздуха (величина, непосредственно прогнозируемая, в отличие от E_0) в предположении, что $E_0 = \varphi(t)$. Температура воздуха (косвенно) характеризует вид подстилающей поверхности.

По данным лизиметрических и воднобалансовых расчетов за декадные интервалы построена зависимость

$$\frac{K}{t} = \varphi(W, H), \quad (2.5)$$

где W — влагозапасы в метровом слое почвогрунтов, % НВ; H — уровень залегания грунтовых вод, м.

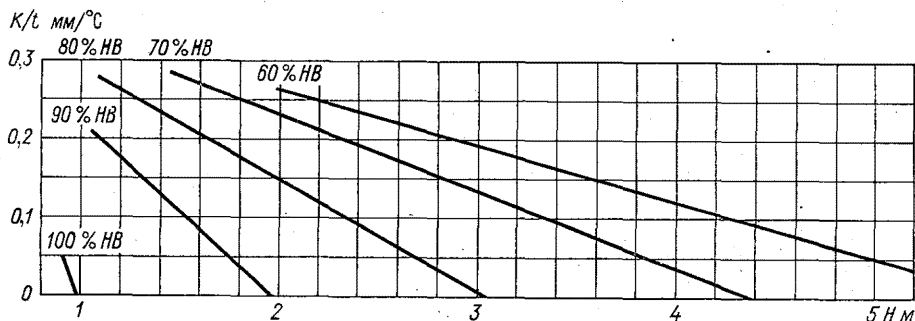


Рис. 2.4. График зависимости $(K/t) = \varphi(H)$ для расчета расхода грунтовых вод в активный слой почвы.

Следует отметить, что к расчету привлекались также данные, полученные на соседних неорошаемых полях. По результатам наблюдений на богаре построены графики зависимости влагозапасов в метровом слое почвогрунтов от глубины залегания грунтовых вод в бездождевые интервалы вегетации сельскохозяйственных культур (рис. 2.4). Кривая $W = \varphi(H)$ является ограничением сверху графической схемы (рис. 2.5), т. е. при установившемся режиме вертикального влагопереноса существуют некоторые $(K/t)_{\max}$ соответствующие H . При некотором заданном H по мере увеличения W значения K/t снижаются. По нашим данным, подпитка в активный слой почвогрунтов прекращается или становится весьма небольшой в определенной для каждой H точке (рис. 2.5).

По материалам лизиметрических исследований за 1974—1976 гг. в совхозе «Петровский» Челябинской области был рассчитан ход отношения размеров подпитки в корнеобитаемый слой к оптимальному испарению с орошаемого поля капусты сорта Подарок при $H = 2,0$ м (рис. 2.6). Значение K/E_{opt} характеризует степень использования грунтовых вод растениями при испа-

рении внутри вегетационного периода [61]. При этом $(K/E_{\text{орт}})=0,65$, а $\min (K/E_{\text{орт}})=0,35$, т. е. по мере развития корневой системы растений степень использования грунтовых вод возрастает в 1,8—1,9 раза (у С. И. Харченко это отношение составляет около 1,7).

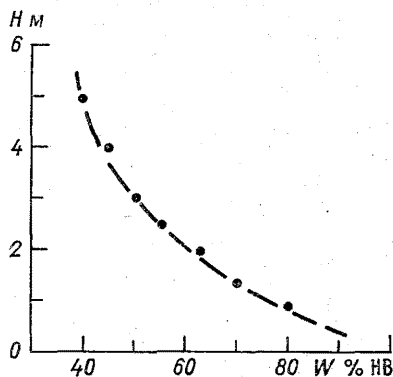


Рис. 2.5. График зависимости влагозапасов метрового слоя почвы от глубины залегания грунтовых вод.

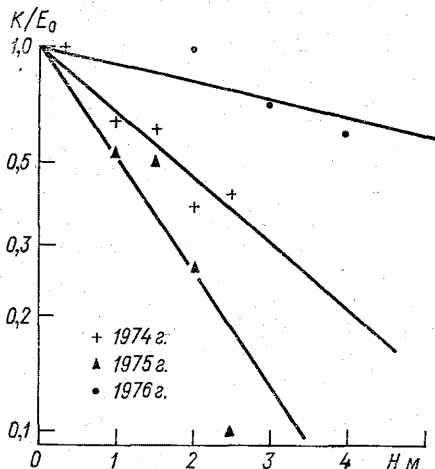


Рис. 2.6. Ход отношения подпитки активного слоя почвы K к оптимальному водопотреблению E_0 для орошаемого поля капусты в совхозе «Петровский» Челябинской области.

Выводы

1. Каштановые почвы и маломощные (обыкновенные и южные) черноземы по водно-физическим и мелиоративным свойствам являются ценными в сельскохозяйственном и агрономическом отношении. Однако в Срединном регионе водный режим этих почв неблагоприятен для сельскохозяйственных культур и не обеспечивает нормального снабжения продуктивной влагой на период вегетации.

2. Дождевание почв легко- и среднесуглинистого механического состава в степной зоне может осуществляться с интенсивностью не более 0,5—0,8 мм/мин, а тяжелосуглинистого — с интенсивностью 0,2—0,4 мм/мин.

3. Глубина промерзания почвы в большой мере зависит от мощности снежного покрова: на полях со значительным снежным покровом (стерня, кулисы) почва промерзает до 65 см, а на полях с маломощным покровом — до 248 см. В лесной полосе при средней высоте снега в 62 см глубина промерзания не превышает 72 см.

Оттаивание почвы начинается после схода снежного покрова

и происходит преимущественно сверху; в солнечные дни оттаивание происходит и при отрицательной температуре. Покрытие почвы водой не ускоряет хода оттаивания.

4. Расчет расхода грунтовых вод в зону аэрации рекомендуется проводить по приведенным формулам. По мере развития корневой системы растений степень использования грунтовых вод возрастает (в 1,8—1,9 раза).

5. Основная задача при орошении каштановых и черноземных почв в степной и лесостепной зонах Среднего региона должна сводиться к недопущению подъема грунтовых вод и перемещения солей к поверхности.

Глава 3. ГИДРОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ЛИМАННОГО ОРОШЕНИЯ

Лиманное орошение, по Б. А. Шумакову [205], — один из способов задержания снеговых вод на водосборе для увлажнения сельскохозяйственных угодий. При проектировании лиманного орошения в степной зоне основными исходными материалами являются данные о снегозапасах по элементам рельефа малых водосборов, размеры весеннего стока и оросительных норм. В настоящей главе сделана попытка количественно оценить, какая доля снеговых вод, остающихся на водосборе, идет на внутренний замкнутый сток и может быть использована на лиманное орошение, а какая часть их расходуется на инфильтрацию и испарение. Выполненные автором исследования показывают, что использование местного стока как источника орошения обладает рядом особенностей, которые должны учитываться при водохозяйственных расчетах систем лиманного орошения.

3.1. Основные факторы весеннего стока

Степная зона Среднего региона в гидрологическом отношении является чрезвычайно интересным районом. Здесь наблюдается короткое, но исключительно высокое весеннее половодье, в продолжение которого проходит преобладающая часть годового стока.

Основные факторы, определяющие сток весеннего половодья, можно разбить на две крупные группы: к первой из них относятся климатические факторы, ко второй — прочие физико-географические (рельеф, геолого-почвенные условия, растительность). Кроме того, на процессах формирования поверхностного стока сказывается культурно-хозяйственная деятельность человека (освоение целинных и залежных земель, строительство прудов, водоемов и др.).

Для весеннего периода по В. С. Мезенцеву и И. В. Карнаце-

вичу [119], можно записать следующее уравнение водного баланса:

$$KX_c + X_b + W_1 - W_2 = Y + Z + U + A, \quad (3.1)$$

где KX_c — зимние осадки, исправленные на недоучет осадкомерами; X_b — осадки за период снеготаяния; Y — весенний сток; Z — испарение с поверхности снежного покрова; U — потери весеннего стока на инфильтрацию; A — потери весеннего стока на аккумуляцию; W_1, W_2 — влагозапасы* в слое почвы на начало и конец расчетного промежутка времени.

В процессах формирования поверхностного стока в весенний период климатическим факторам принадлежит решающее значение. Среди них первое место занимают атмосферные осадки, создающие потенциальную способность возникновения и развития стока. Интенсивность снеготаяния определяет весь режим формирования поверхностного стока. С возрастанием интенсивности снеготаяния при прочих равных условиях уменьшаются потери поверхностного стока на инфильтрацию. Потери поверхностного стока в весенний период в известной мере зависят также от увлажнения почвы предшествующей осенью (рис. 3.1) и глубины промерзания в зимний период. В то же время прочие физико-географические факторы влияют не на сам поверхностный сток, а лишь на потери его на инфильтрацию в почвогрунты и на аккумуляцию снеговых вод.

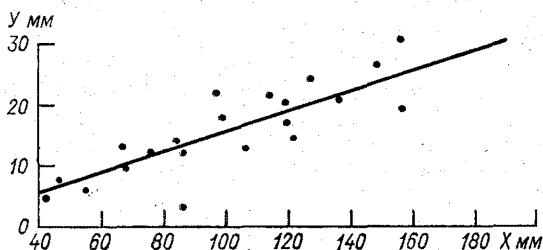


Рис. 3.1. Зависимость слоя весеннего стока Y от осеннего увлажнения почвы X (сумма осадков за август—октябрь), р. Кучук — в/п Нижний Кучук.

Как показали исследования А. Д. Саваренского [165], наличие замкнутых депрессий на поверхности водосборного бассейна приводит к резкому возрастанию потерь на аккумуляцию, которая, по расчетам Саваренского, для районов Заволжья составляет 20—25% общих запасов воды в снежном покрове. Влияние почвенных условий связано с процессами инфильтрации в весенний период. Инфильтрационная способность почвы при данных климатических условиях является функцией ее общих водно-физических свойств. Однако если водно-физические свойства почвы предопределяют возможность инфильтрации, то сами потери

* Согласно В. С. Мезенцеву, при решении водного баланса среднего многолетнего года в целом в уравнении (3.1) выполняется условие $W_1 - W_2 = 0$.

на инфильтрацию при прочих равных условиях лимитируются увлажнением почвы к началу образования весеннего стока. Если увлажнение почвы ниже предела, при котором на данном водосборе может формироваться существенный поверхностный сток (на среднесуглинистых почвах Северного Казахстана этот предел равен 160 мм), то даже интенсивное таяние не приводит к образованию значительного поверхностного стока. В работах [37, 70, 103, 135] было установлено, что на распаханых склонах при прочих равных условиях потери стока на инфильтрацию возрастают во много раз по сравнению с нераспаханymi склонами, а в некоторых случаях сток может полностью отсутствовать.

Оценив таким образом качественную сторону основных факторов весеннего стока, необходимо более подробно рассмотреть те из них, которые непосредственно влияют на режим формирования снегового стока в условиях степной зоны. Кроме того, следует попытаться дать предварительную количественную оценку факторам, поддающимся учету.

Данные снегомерных съемок автора показывают, что количество зимних осадков колеблется по территории степной зоны в различные по снежности зимы в пределах от 45—60 до 120—145 мм, составляя в среднем 70—80 мм. Вследствие скоротечности весеннего периода и общего незначительного количества осадков за период снеготаяния (10—15 мм), доля последних в образовании поверхностного весеннего стока, по-видимому, очень невелика и не превышает 5—8 мм.

Весьма важной составляющей потерь поверхностного стока в период наполнения мелководных лиманов снеговыми водами является аккумуляция, которая в свою очередь определяется двумя крупными компонентами: потерями на аккумуляцию снеговых вод на поверхности водосборного бассейна и объемом поверхностного стока, зарегулированного различными гидротехническими сооружениями [181]. Потери на аккумуляцию на поверхности бассейна в значительной мере обусловлены его общим морфологическим строением, определяющим размеры естественных депрессий. Потери весеннего стока на поверхности водосборного бассейна меняются в зависимости от характера весны, который определяет степень заполнения естественных депрессий. Поверхностная аккумуляция снеговых вод в весны с высоким увлажнением и большой глубиной промерзания почв составляет не более 5—7 мм. В весны со слабоувлажненными почвами аккумуляция практически отсутствует, так как потери на водосборах целиком идут за счет инфильтрации снеговых вод в почву. Однако встречаются экстремальные годы, когда аккумуляция снеговых вод бывает довольно значительной и даже вызывает местные наводнения и затопление сельскохозяйственных угодий (рис. 3.2).

Потери на аккумуляцию влаги на поверхности определены по рис. 3.3, построенному для р. Кучук [1, 4, 6]. При этом поте-

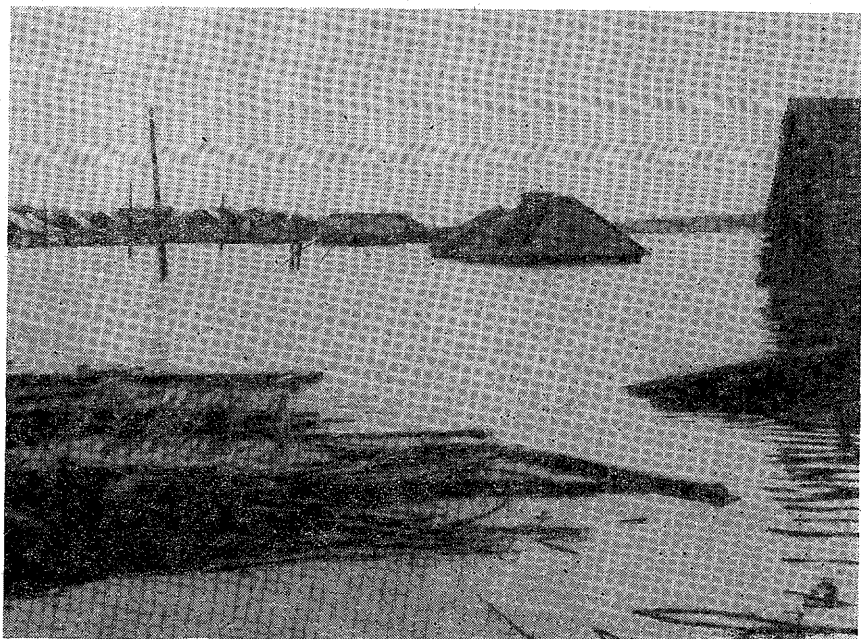


Рис. 3.2. Наводнение в Центральной Кулунде в апреле 1961 г., Михайловский район Алтайского края. Фото автора.

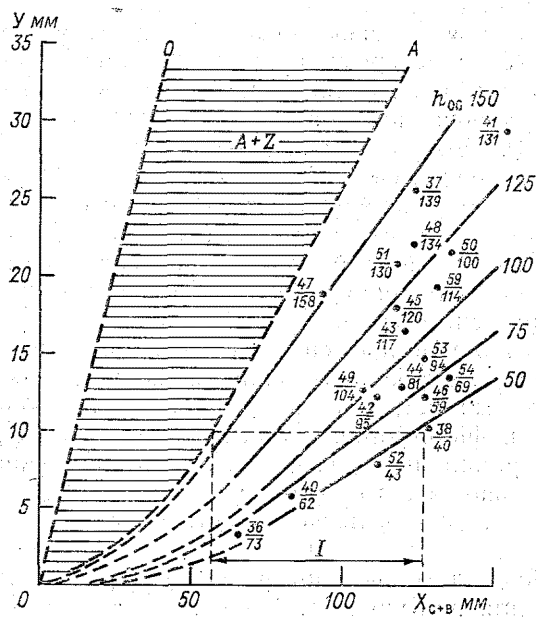


Рис. 3.3. Зависимость слоя весеннего стока Y от снегозапасов, сложенных с весенними осадками $X_{с+в}$, и осеннего увлажнения почвы, р. Кучук—в/п Нижний Кучук.

В числителе даны годы, в знаменателе — осеннее увлажнение почвы.

ри на аккумуляцию A показаны на графике суммарно с потерями на испарение снеговых вод ($A+Z$). Как показали исследования Г. В. Павленко по равнинным рекам Кулундинской степи и автора по рекам Приобского плато [131], наибольшие значения аккумуляции характерны для рек Бурлы и Кулунды (50—70 мм), наименьшие — для Касмалы и Кучука (20—40 мм).

Сравнение суточных значений водоотдачи, полученных А. Б. Заводчиковым [70] для условий Северного Казахстана и автором для условий Западной Сибири и Южного Урала [131, 134], с убылью снеготаяния (по ежедневным снегосъемкам) и интенсивностью снеготаяния (определенной методом теплового баланса по П. П. Кузьмину) показало, что они мало отличаются между собой во всех случаях, когда твердые и жидкие осадки в период схода снега отсутствуют или малы, а испарением с поверхности снежного покрова в весенний период можно пренебречь (снеготаяние на малых водосборах здесь продолжается 5—10 дней). Среднесуточная интенсивность снеготаяния на малых водосборах степной зоны составляет 6—10 мм, при крайних значениях 3 и 40 мм. Интенсивность снеготаяния существенно зависит от экспозиции склонов, степени загрязнения снега и характера подстилающей поверхности.

3.2. Распределение снежного покрова на малом водосборе

Для степной зоны характерно исключительно неравномерное распределение снежного покрова по территории, что в значительной мере объясняет большую пестроту в величинах и структуре водного баланса и стока по сельскохозяйственным угодьям и элементам рельефа.

А. Б. Заводчиков [70] отмечает, что русловая и овражно-балочная сеть в Северном Казахстане занимает сравнительно небольшую площадь, но количество накапливаемого в ней снега иногда составляет значительную долю общих снеготаяний на водосборе. Например, зимой 1955-56 г., которая характеризовалась частой повторяемостью метелей, в небольших логах с площадями водосбора от 0,15 до 6 км² снеготаяния на склонах и в овражно-балочной сети составляли от 7 до 30% средних снеготаяний на водосборе.

В зимы с более умеренной ветровой деятельностью снеготаяния в овражно-балочной сети не превышают 3—7%. Аналогичные результаты дали снегосъемки, проведенные в Кокчетавской и Кустанайской областях. Зимой 1955-56 г. в бассейнах рек с площадью водосбора от 617 до 2470 км² и с незначительной площадью овражно-балочной сети (от 0,2 до 0,6% от всей площади водосбора) доля снеготаяний в русловой и овражно-балочной сети не превышала 3%.

Материалы трехлетних наблюдений (1955—1957 гг.) экспедиции ГГИ в Северном Казахстане показали, что запасы воды

в снежном покрове в руслах рек и в балках к началу весеннего снеготаяния (март) в 3—3,5 раза больше, чем на прилегающих целинных участках, расположенных на склонах. Экстремально эти значения колеблются в пределах от 1,5 до 5,5 и зависят от ориентировки русла по отношению к преобладающим зимой ветрам, повторяемости и силы метелей, ширины и глубины оврагов и балок и характера угодий на водосборе.

Исследования формирования снежного покрова на Приобском плато проводились нами в Родинском, Панкрушихинском и Бурлинском районах Алтайского края и в Баганском районе Новосибирской области, а также в Агаповском и Красноармейском районах Челябинской и Илекском районе Оренбургской областей (Южный Урал и Зауралье).

Формирование снежного покрова на Приобском плато определяется двумя условиями: ограниченным количеством твердых атмосферных осадков и наличием в зимний период сильных ветров, которые сдувают снег в балки, лога, овраги, а также в микро- и мезопонижения. В результате снежный покров определяется по элементам рельефа весьма неравномерно, а на открытых участках, особенно на участках, лишенных растительности, он неустойчив.

В зимний период на Приобском плато господствуют ветры юго-западного направления. Здесь очень часты ветры со скоростью более 10 м/с, нередко продолжающиеся в течение нескольких дней. При скорости ветра 10 м/с на открытых местах в летнее время начинаются пыльные бури, а в зимний период снег почти целиком сносится с поверхности, лишенной травянистой растительности или жнивья. Большинство балок и логов на Приобском плато имеют широтное направление, т. е. направление ветра в зимний период большей частью совпадает с ориентацией балок. Под действием ветра снег переносится и откладывается в колках, лесных полосах, а также в русловой части балок меридионального направления.

Для изучения характера залегания и особенностей формирования снежного покрова на балке Зеленый Луг ежегодно в марте (период максимального снегонакопления) проводилась снегомерная съемка по профилям длиной 1500—1700 м от водораздела (балка имеет широтную ориентацию). Высота снежного покрова измерялась через 10 м, плотность — через 50 м. Выяснилось, что в нижней части балки запас воды в снеге в много-снежную зиму 1953-54 г. составлял в среднем 74,5 мм, тогда как на приводораздельной части склона среднее значение было 121,5 мм. Плотность снежного покрова перед началом снеготаяния (конец марта) во все годы исследований была более или менее равномерной и составляла в среднем 0,30 г/см³.

Материалы снегомерных съемок, проведенных в течение 1954, 1955, 1956 и 1957 гг., дают возможность судить о характере распределения снега в зимние периоды с различным количеством осадков [131].

Зима 1953-54 г. была исключительно многоснежной. Сумма осадков зимнего периода, по данным снегомерных наблюдений метеостанций Родино и Волчихи, составила 100—110 мм. Количество осадков зимой 1954-55 г. было близким к норме (70—80 мм). Зима 1955-56 г. на Приобском плато отличалась исключительной малоснежностью. Сумма осадков зимнего периода составила 35 мм. Для районов же Северной и Центральной Кучунды зима 1955-56 г. по количеству снегозапасов была близкой к норме. Наконец, зима 1956-57 г. была также многоснежной (95—100 мм).

На основании материалов исследования распределение снежного покрова по поверхности малых водосборов в различные зимы представляется в следующем виде. В многоснежные зимы, например в 1953-54 г., распределение снежного покрова на водосборе крайне неравномерно. Более равномерно снегозапасы распределены на приводораздельной части вершины склонов бассейна. Здесь высота снежного покрова меньше, чем на склоне, но зато больше плотность. В некоторых случаях высота снежного покрова составляла всего лишь 8—10 см (25—30 % средней для водосборов), в других повышалась до 25—35 см, приближаясь к средней. В верхней части и на середине склонов снежный покров залегает более равномерно, чем на других частях водосбора. Высота снежного покрова здесь составляла 65—80 % средней на водосборе, причем она увеличивается в направлении от вершины к его подошве. Высота снежного покрова в нижних частях склонов достигала 45—50 см.

Гидрографическая сеть временных водотоков отличалась наиболее сложным распределением снежного покрова. Мелкие звенья гидрографической сети (узкие балки, лога меридиональной ориентации) были почти полностью заполнены снегом. Высота снежного покрова в низовьях таких балок и логов в отдельных случаях превышала 2,5 м.

В малоснежную зиму 1955-56 г. распределение снежного покрова по поверхности водосбора р. Кучук было более равномерным. Однако характер залегания снежного покрова по гидрографической сети в общих чертах был таким же, как и в 1954-55 г., средняя высота снежного покрова в низовьях балок и логов нередко превышала 1,0 м, на приводораздельных участках уменьшалась до 0,4 м. Влияние ориентации балок и логов на степень заполнения их снегом выражалось весьма отчетливо.

В результате детального изучения условий формирования снежного покрова на малых водосборах Приобского плато в зимне-весенний период 1956 г. выяснилось, что качественные и сравнительные показатели одного года будут характерны и для других лет.

Наблюдения за снегораспределением на разных морфологических участках водосборов, проводившиеся нами в течение ряда лет, дали возможность количественно оценить снегозапасы на

основных элементах малого водосбора (приводораздельная часть, склоны, гидрографическая сеть временных водотоков). Полученные величины имеют определенный интерес для изучения формирования поверхностного стока как источника для лиманного орошения.

Разделяя водосбор на основные морфологические элементы, отличные по режиму поверхностного стока, мы тем самым допускаем известную схематизацию процессов*. Однако такая схематизация обеспечивает разделение суммарных снегозапасов водосбора на русловые и склоновые, что имеет немалое практическое значение. Так, например, при проектировании мелководных лиманов на склоне учитывается только склоновый сток, а при проектировании и строительстве прудов и водоемов на небольших балках, логах при значительной распадке площади водосбора большое значение имеет русловый сток. Таким образом, ввиду некоторой схематизации основных элементов водосбора и недостаточного числа лет наблюдений расчетные величины имеют приближенный характер.

Для производства необходимых расчетов, кроме данных наблюдений за снегораспределением на различных участках водосбора, необходимы также данные о площади, занятой вершинами склонов, средней и нижней частями склонов, а также гидрографической сетью временных водотоков. При наличии этих характеристик можно рассчитать снегозапасы для условий малого речного бассейна, а также для временных водотоков.

Исходя из того что снегомерные наблюдения проводились главным образом в бассейне р. Кучук, полученные данные можно будет отнести для условий, аналогичных этому бассейну. Водосборные площади, занимаемые вершинами склонов, средней и нижней частями склонов, можно получить с точностью, достаточной для целей приближенных расчетов, на основании гипсометрической карты Приобского плато масштаба 1:100 000. Согласно этой карте, вершины склонов (водоразделы) бассейна р. Кучук занимают около 25 % всей площади водосбора. Остальная часть площади водосбора приходится на долю средней и приводораздельной частей склонов и гидрографической сети.

Большие трудности вызывают вычисления площади, занятой гидрографической сетью. Так, например, А. С. Козменко и А. Д. Ивановский [90] считают, что площадь гидрографической сети на европейской части СССР составляет 10—20 % общей площади водосбора.

Наиболее объективным методом оценки площади, занимаемой гидрографической сетью, являются непосредственные вычисления с помощью имеющихся карт густоты речной сети. Располагая картой гидрографической сети, удельную площадь (на

* Расчет проведен по методике Н. В. Разумихина [155].

1 км² водосбора), занимаемую гидрографической сетью, можно вычислить по формуле

$$S_r = 100 \gamma_r B_{cp}, \quad (3.2)$$

где γ_r — средняя густота гидрографической сети, км/км²; B_{cp} — средняя ширина гидрографической сети бассейна, км.

Средняя ширина постоянной и временной гидрографической сети может быть определена как средневзвешенная.

По данным карты, для бассейна р. Кучук густота речной сети составляет около 0,15 км/км². Здесь не учитывается ложинно-балочная сеть, площадь которой несколько больше, чем речной сети Приобского плато. Так, согласно данным А. В. Огиевского, гидрографическая сеть временных водотоков (лога, балки, ложины) составляет около 95 % протяженности всей гидрографической сети. А. С. Козменко считает, что для Среднерусской возвышенности протяженность речной сети равна примерно 10—15% всей протяженности гидрографической сети, а на долю ложинно-балочной сети приходится 85—90%.

При рекогносцировочных обследованиях гидрографической сети, проведенных на Приобском плато осенью 1955 и 1956 гг., установлено, что соотношение протяженности речной сети к ложинно-балочной составляет 1:6 (табл. 3.1). В то же время не-

Таблица 3.1

Протяженность элементов гидрографической сети (Приобское плато)

Элемент гидрографической сети	Протяженность	
	км	% длины гидрографической сети
Ложбины	20,3	29
Ложины	28,5	40
Суходолы (лога)	11,8	16
Долины (речные)	10,5	15
Всего	71,1	100

посредственные измерения гидрографической сети позволяют сделать некоторые выводы о ширине отдельных ее звеньев. Ширина гидрографической сети на территории Приобского плато (бассейн рек Кучук, Касмалы и Бурлы) колеблется в пределах 60—70 м для речной сети и для ложинно-балочной (в применении к снегораспределению за ширину русла принимается ширина дна и двух берегов, но не всегда у ложины можно четко разграничить дно и берега, так как переход в берег очень плавный и не имеет уступа).

Учитывая, что речная сеть составляет около 15% протяженности гидрографической сети бассейна, средневзвешенное

значение ширины гидрографической сети может быть вычислено по формуле

$$B_{\text{ср}} = \frac{P_{\text{р}} B_{\text{р}} + P_{\text{л.б}} B_{\text{л.б}}}{100}, \quad (3.3)$$

где $B_{\text{р}}$ — средняя ширина речной сети; $P_{\text{р}}$ — протяженность речной сети, % суммарной протяженности; $P_{\text{л.б}}$ — протяженность лощинно-балочной сети, % суммарной протяженности; $B_{\text{л.б}}$ — средняя ширина лощинно-балочной сети. Принимая $P_{\text{р}}=15\%$, $P_{\text{л.б}}=85\%$, $B_{\text{р}}=65$ м, $B_{\text{л.б}}=20$ м, получим средневзвешенное значение ширины гидрографической сети $B_{\text{ср}}=26,75 \approx 30$ м.

По данным о густоте речной сети и ее средней ширине можно вычислить площадь (в процентах), занимаемую гидрографической сетью, по формуле

$$S_{\text{г}} = 100 \gamma_{\text{р}} K_{\text{л.б}} B_{\text{ср}}, \quad (3.4)$$

где $\gamma_{\text{р}}$ — густота речной сети, км/км²; $K_{\text{л.б}}$ — коэффициент увеличения протяженности гидрографической сети за счет балок, лощин, логов; $B_{\text{ср}}$ — средняя ширина гидрографической сети, км.

На основании приведенных выше расчетов получим: $\gamma_{\text{р}}=0,15$ км/км², $K_{\text{л.б}}=8,5$, $B_{\text{ср}}=0,03$ км и $S_{\text{г}}=4\%$. Таким образом, площадь, занимаемая гидрографической сетью в верховьях бассейнов рек Приобского плато, равна 4% всей площади водосбора.

Принимая во внимание, что ширина речной сети в два раза превышает среднюю ширину всего водосбора, а длина речной сети составляет 15% суммарной протяженности водосбора, нетрудно вычислить площадь, занимаемую отдельно речной и лощинно-балочной сетью.

На основании приведенных данных, речная сеть должна занимать 30% всей площади гидрографической сети, или 1,2% всей площади водосбора. Следовательно, на долю лощинно-балочной сети приходится около 3% площади водосбора (табл. 3.2).

С помощью табл. 3.2, а также данных снегосъемок за годы

Таблица 3.2

Распределение площади водосбора по основным элементам рельефа Приобского плато

Элемент рельефа	Занимаемая площадь, % всей площади водосбора
Вершины склонов (водоразделы)	25,0
Приводораздельные и средние части склонов	71,0
Гидрографическая сеть:	
а) постоянная (речная)	1,0
б) временная (лощинно-балочная)	3,0

исследования [131] можно рассчитать снегозапасы на основных элементах мезорельефа (табл. 3.3). Из данных табл. 3.3 видно, что основная масса снежного покрова залегает на средних и нижних частях склонов. Вода, содержащаяся в снежном покрове склонов, представляет большой интерес для сельского хозяйства, так как ее можно использовать для увлажнения почвы полей и для лиманного орошения расположенных ниже по склону участков.

Проведенные нами расчеты (табл. 3.3), основанные на определении площади, занимаемой гидрографической сетью и снегозапасов в ней, полученных с помощью учащенных снегомерных съемок (3—5 измерений в одной точке), показывают, что снегозапасы в пределах лощинно-балочной сети изменяются в зависимости от снежности зимы (13—14% суммарных на водосборе для многоснежной зимы и 8—12% для остальных условий). Выявленные нами особенности снегораспределения на малых водосборах следует учитывать при проектировании систем лиманного орошения в степной и лесостепной зонах.

Таблица 3.3

Распределение снегозапасов по основным элементам мезорельефа для различных типов зим

Типы зим	Запас воды в снеге, мм	Элемент рельефа и гидрографическая сеть	Занимаемая площадь водосбора, %	Высота снежного покрова, % средней для водосбора	Снегозапасы	
					% суммарных на водосборе	мм слоя воды
Многоснежная, 1953-54 г.	100	Приводораздельная часть	25	73	18	18,0
		Склоны	71	122	65	65,0
		Речная сеть	1	302	3	3,0
		Лощинно-балочная сеть	3	465	14	14,0
Средняя, 1954-55 г.	80	Приводораздельная часть	25	90	23	18,4
		Склоны	71	110	63	50,5
		Речная сеть	1	238	2	1,6
		Лощинно-балочная сеть	3	397	12	9,5
Малоснежная, 1956-57 г.	35	Приводораздельная часть	25	95	24	8,4
		Склоны	71	100	66	23,2
		Речная сеть	1	178	2	0,7
		Лощинно-балочная сеть	3	278	8	2,7

3.3. Испарение со снежного покрова

Наблюдения за испарением со снежного покрова проводились весной 1956 и 1957 гг. в Панкрушихинском районе Алтайского края (Приобское плато) и в Андреевском районе Новосибирской области (Северная Кулунда), а весной 1955 г. в Сладковском районе Тюменской области (Ишимская степь). Приведенные в табл. 3.4 данные наблюдений показывают, что в условиях степной зоны Западной Сибири испарение с поверхности снежного покрова незначительно и составляет приблизительно 3—5 мм за весь период интенсивного снеготаяния. В условиях пасмурной погоды весной испарение с поверхности снежного покрова почти не происходит, так как конденсация преобладает над испарением. При ясной погоде в начале снеготаяния преобладает испарение, а в конце — конденсация [126].

Несмотря на большие абсолютные значения испарения (конденсации) снега, все же наблюдаются резкие колебания этой величины во времени. Эти колебания обусловлены совместным влиянием температуры и влажности воздуха. Наибольшие значения испарения наблюдаются до начала интенсивного снеготаяния при низкой абсолютной влажности воздуха (1—2 гПа) и резком повышении температуры. Наименьшие значения испарения наблюдаются в период интенсивного снеготаяния при высокой влажности воздуха (5—8 гПа).

Как показали исследования Г. В. Белоненко [156] на Урале, И. В. Карнацевича, В. С. Мезенцева [81] в Западной Сибири, В. А. Семенова [170] в Центральном Казахстане, в зимний период испарение с поверхности снега может быть довольно значительным. Аналогичные сведения приводят также зарубежные ученые [211, 215, 217].

Наблюдения за испарением снега в зимний период проводились автором зимой 1959-60 г. (пос. Огурцово Новосибирской области) и были продолжены в 1967—1969 гг. (с. Зеленая Поляна, Алтайского края) в составе Алтайской комплексной экспедиции МГУ. Снегоиспарительные площадки были организованы вблизи метеостанций, на открытых равнинных участках.

Для определения испарения были использованы цилиндрические сосуды из плексигласа площадью 500 см² и высотой 5 см. Испарители взвешивались ежедневно в 7—8 и 19—20 ч. Для оценки влияния солнечной радиации и предохранения испарителей от метелей и снегопадов на одном из опытов применялся специальный плексигласовый колпак.

Данные четырехлетних наблюдений показывают, что в зимний период среднесуточная интенсивность испарения невелика и колеблется от 0,03 до 0,25 мм [123, 125]. В период наиболее интенсивного испарения снега эти значения в Центральной Кулунде достигают 1,0—1,5 мм/сут [126].

Из-за кратковременности периода наблюдений рассчитать

Таблица 3.4

**Испарение (мм) с поверхности снежного покрова
в период весеннего снеготаяния**

Месяц	Дата	Испарение (-), конденса- ция (+)			Месяц	Дата	Испарение (-), конденса- ция (+)		
		ночь	день	сутки			ночь	день	сутки

1955 г.

Ишимская степь, с. Сладково

Апрель	5	+0,50	-0,01	+0,49	Апрель	14	-0,20	-0,20	-0,40
	6	+0,70	-0,40	+0,30		15	-0,10	-0,10	-0,20
	7	+0,20	-0,40	-0,20		16	+0,10	—	—
	9	+1,20	-0,30	+0,30		17	+0,02	-0,10	-0,08
	10	+0,40	-0,50	-0,10		18	+0,04	-0,10	-0,06
	11	+0,10	-0,60	-0,50		19	+0,20	-0,20	-0,00
	12	+0,30	—	—		21	+0,10	-0,90	-0,80
	13	-0,80	—	—		22	+0,20	-1,20	-1,00

1956 г.

Северная Кулунда, п. Андреевка

Март	18	—	-0,20	—	Март	29	-0,03	-0,29	-0,32
	21	+0,25	-0,17	+0,08		30	+0,12	-0,15	-0,03
	22	+0,19	-0,34	-0,15		31	+0,13	-0,18	-0,05
	23	+0,30	-0,15	+0,15	Апрель	1	-0,02	-0,24	-0,26
	24	+0,12	-0,39	-0,27		2	+0,22	-0,42	-0,20
	25	-0,33	-0,14	-0,47		3	+0,04	-0,37	-0,33
	26	+0,06	-0,26	-0,20		4	+0,10	-0,38	-0,28
	27	-0,45	-0,16	-0,61		5	+0,16	-0,12	+0,04
	28	-0,11	-0,23	-0,34					

Приобское плато, с. Панкрушиха

Март	29	+0,04	-0,25	-0,21	Апрель	5	+0,02	-0,11	-0,09
	30	+0,03	-0,22	-0,19		6	+0,03	-0,19	-0,16
	31	+0,03	-0,34	-0,31		7	—	-0,04	—
Апрель	1	-0,08	-0,33	-0,41		8	+0,11	-0,01	+0,10
	2	-0,02	-0,03	-0,05		9	+0,03	+0,04	+0,07
	3	+0,09	-0,42	-0,33		10	+0,04	-0,02	+0,02
	4	+0,01	-0,22	-0,21		11	—	+0,16	—

Месяц	Дата	Испарение (—), конденса- ция (+)			Месяц	Дата	Испарение (—), конденса- ция (+)		
		ночь	день	сутки			ночь	день	сутки
1957 г. Приобское плато, с. Панкрушиха									
Март	26	—	—	—0,56	Апрель	13	—0,08	—0,54	—0,62
	27	—	—	—0,26		14	+0,12	—0,03	+0,09
	29	—	—	—0,35		15	—	—0,05	—
Апрель	6	—	—	—0,21	16	—0,05	—0,49	—0,54	
	10	—0,15	—0,20	—0,35	17	+0,03	—0,52	—0,49	
	11	+0,07	—0,19	—0,12	19	—0,17	—	—	
	12	+0,08	—	—	20	+0,06	—0,62	—0,56	
					21	+0,09	—0,64	—0,55	

норму испарения снега на территории Обь-Иртышского междуречья по данным наблюдений не представилось возможным.

Проверка применимости для расчетов испарения с поверхности снежного покрова формул П. П. Кузьмина [104], Е. Д. Сабо [164], В. А. Семенова [170] показала, что наиболее применимыми для условий Обь-Иртышского междуречья являются зависимости испарения снега от дефицита влажности воздуха * за расчетный период.

По материалам наблюдений автора за испарением с поверхности снежного покрова в зимние периоды 1967—1969 гг. (Алтайский край) получена формула

$$E = 2n(0,34d - 0,04), \quad (3.5)$$

где E — испарение с поверхности снежного покрова в зимний период за n суток, мм; d — среднесуточный дефицит влажности воздуха на высоте 200 см от поверхности, гПа.

Вычисленные по формуле (3.5) значения испарения с поверхности снега в 95% случаев отклоняются от фактических данных снегоиспарительной площадки не более чем на 0,05 мм/сут. Данная формула может быть использована для определения суммарных значений испарения с поверхности снежного покрова за короткие отрезки времени на водосборах Обь-Иртышского междуречья.

* Зависимость испарения от скорости ветра менее тесная [135].

3.4. Инфильтрация снеговых вод и миграция влаги в мерзлую почву

В большинстве случаев считают, что слабая водопроницаемость мерзлой почвы — явление неизбежное. Ряд авторов [91, 95, 96, 97, 137, 162, 179, 199, 218] придерживаются иной точки зрения. Одна и та же почва в одних случаях становится почти полностью непроницаемой для воды, а в других — довольно хорошо впитывает воду. В результате непосредственных наблюдений нами было установлено, что почва в мелководных лиманах, наполняющихся снеговой водой, начинает впитывать воду только через несколько суток (в степной зоне Западной Сибири обычно через 5—6) после наполнения лиманов. Начало впитывания легко заметить, так как оно сопровождается появлением на поверхности воды пузырьков вытесненного из почвы воздуха.

Инфильтрация прежде всего зависит от состояния почвы — талая она или мерзлая. Помимо этого, немалую роль играют и другие физические свойства почвы: увлажненность и структура. Инфильтрация может резко различаться даже в одинаковых условиях увлажнения на разных сельскохозяйственных угодьях (зябь, залежь, целина и т. д.).

Опыты по изучению инфильтрации в мерзлую почву на пахотных и целинных землях Приобского плато проводились в конце марта и в начале апреля 1954—1957 гг. в Родинском и Панкрушихинском районах Алтайского края и в 1972—1975 гг. в Агаповском и Красноармейском районах Челябинской области [134]. Почвенный покров опытных участков представлен в основном среднесуглинистыми обыкновенными и южными черноземами. Грунтовые воды залегали на глубине 5—6 м и более.

Водопроницаемость мерзлой почвы в 1954 г. определялась по несколько видоизмененному методу Болдырева. В мерзлом грунте устраивались шурфы сечением 30×30 см. В шурфах поддерживался постоянный слой воды, равный 5 см, учитывалось время, в течение которого впитывалась вода в почву, и количество подливаемой воды, взятой из ближайших западин. Нулевая температура воды поддерживалась путем систематического добавления снега.

Водопроницаемость верхних горизонтов почвы (0—10 см) определялась нами с помощью специально подготовленных с осени естественных площадок (или монолитов) в трехкратной повторности. Это делалось с той целью, чтобы не искажать условия опыта при определении водопроницаемости пахотного хорошо увлажненного и гумусированного мерзлого горизонта почвы.

В весенние периоды 1955—1957 гг. для определения водопроницаемости мерзлой почвы использовался прибор Нестерова (ПВН), который исключает влияние капиллярного всасывания воды в стороны и вверх, что особенно важно при определении водопроницаемости талых почв. Одновременно определялась

влажность и температура почвы. Температура мерзлой почвы определялась при помощи термометров сопротивления, установленных на глубинах 10, 20, 30, 40, 50, 100 и 160 см. Влажность почвы во время проведения опытов была сравнительно невысокой (от 25 до 60% НВ), температура верхних горизонтов почвы колебалась от $-0,8^{\circ}\text{C}$ в 1954 г. до $-1,2^{\circ}\text{C}$ в 1956 г.

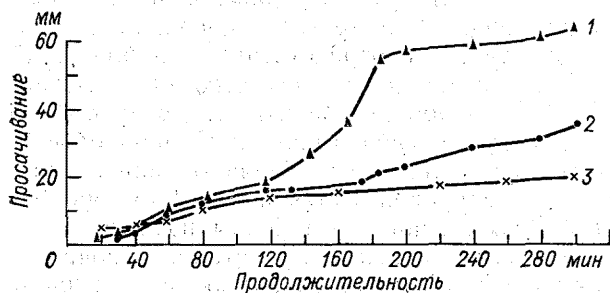


Рис. 3.4. Интегральные кривые впитывания воды в мерзлую почву. 1 — целина (1954 г.), 2 — зять (1954 г.), 3 — целина (1955 г.).

Результаты двух опытов, выполненных весной 1954 г., приведены на рис. 3.4. Суммарное впитывание было почти одинаковым, процесс впитывания протекал скачкообразно (замедленно и ускоренно), очевидно, в зависимости от количества трещин в опытном образце. Количество воды, впитавшейся в мерзлую почву, зависит от первоначальной влажности почвы.

Результаты наблюдений над просачиванием воды в мерзлую почву, выполненных весной 1955 г. на тех же участках, но при более повышенной влажности почвы, очень близки к полученным в 1954 г.

Опыты подтвердили сравнительно слабую водопроницаемость мерзлых среднесуглинистых черноземов в период снеготаяния; впитывание прекращается при образовании на дне шурфа хотя

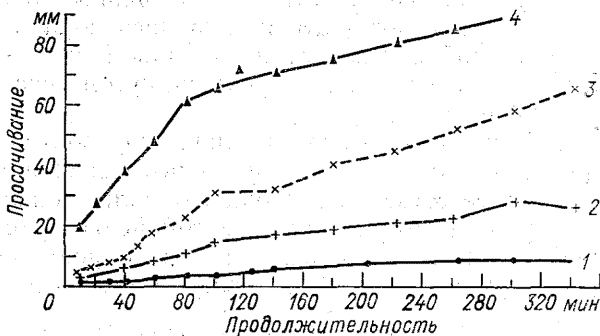


Рис. 3.5. Просачивание воды в почву при разной глубине оттаивания.

Глубина, мм: 1) 25, 2) 100, 3) 180, 4) 350.

бы небольшой ледяной корки, появление которой возможно при малейшем переохлаждении воды (ниже 0°C), что в условиях Западной Сибири и Южного Урала бывает довольно часто.

Резко возрастает просачивание воды по мере оттаивания

почвы (рис. 3.5). Наблюдения над оттаиванием и интенсивностью впитывания воды выполнены на целинном участке (луг) весной 1957 г. Снег к воде не прибавлялся. На солнце температура почвы резко повышается и стенки шурфа постепенно оттаивают. Таким образом достигается оттаивание дна шурфа на разную глубину. При этом и просачивание было различным.

По А. Н. Костякову [98], динамика впитывания воды почвой выражается формулой

$$K_t = \frac{K_0}{t^\alpha}, \quad (3.6)$$

где K_t — коэффициент поглощения воды почвой в момент времени t ; K_0 — коэффициент поглощения воды почвой в начальный момент времени; t — время от начала опыта; α — показатель степени, зависящий от почвенных условий.

Однако, как правильно заметил В. В. Романов [104], одночленная формула А. Н. Костякова не всегда дает положительные результаты, а в отдельных случаях лишена физического смысла [218]. Поэтому лучше пользоваться двучленными теоретическими формулами Л. С. Лейбензона [189] с некоторыми поправками С. Ф. Аверьянова [2], А. И. Будаговского [29] и др.

Упрощенная формула С. Ф. Аверьянова имеет следующий вид:

$$v_t = K_v \left(1 + \frac{b}{\sqrt{t}} \right), \quad (3.7)$$

где v_t — скорость впитывания за время t , м/сут; K_v — коэффициент проницаемости при полном насыщении с учетом заземленного воздуха, м/сут; b — коэффициент.

Для мерзлой среднесуглинистой почвы (южные выщелоченные черноземы) коэффициент α в формуле Костякова *оказался равным в среднем 0,40 (табл. 3.5).

Таблица 3.5
Изменение показателя α в полевых опытах по определению водопроницаемости мерзлых среднесуглинистых почв (южные черноземы)

Угодье	Горизонты почвы, см					Среднее
	10	20	35	45	55	
Зябь	0,27	0,34	0,38	0,41	0,47	0,38
Целина	0,31	0,37	0,43	0,47	0,53	0,42

Зная закономерность изменения коэффициента поглощения воды мерзлой почвой во времени, можно определить общее

* Кривая просачивания в мерзлую почву в наших исследованиях была аналогична кривой просачивания в талую почву (по А. Н. Костякову).

количество воды h , поглощенной почвой за расчетный промежуток времени:

$$h = \int_0^t K_t dt = \int_0^t \frac{K_0}{t^\alpha} dt = \frac{K_0 t^{1-\alpha}}{1-\alpha}. \quad (3.8)$$

Таким образом, для мерзлой среднесуточной почвы (южные выщелоченные черноземы) эта формула примет следующий вид:

$$h = 1,67 K_{\text{ом}} t^{0,6}, \quad (3.9)$$

где $K_{\text{ом}}$ — начальный коэффициент поглощения воды мерзлой почвой, мм/ч.

В тех случаях, когда почва к началу заполнения лимана оттаяла на всю глубину, что в условиях Западной Сибири и Урала бывает очень редко (при мягких зимах и большой глубине снежного покрова), вместо $K_{\text{ом}}$ используется $K_{\text{от}}$ (начальный коэффициент поглощения талой почвой). Если же происходит поглощение воды мерзлой почвой, а коэффициент поглощения определен летом, то в формулу необходимо ввести поправочный коэффициент γ , тогда приведенное выше выражение примет следующий вид:

$$h = 1,67 \gamma_{\text{от}} t^{0,6}. \quad (3.10)$$

Коэффициент γ в условиях Приобского плато изменяется в пределах от 0,01 до 0,37 в зависимости от влажности и степени цементации мерзлой почвы (табл. 3.6). Приближенно эту зависимость можно определить при проведении указанных опытов, но она нуждается в дальнейшем уточнении (в более распространенных опытах, позволяющих выяснить влияние температуры и различных видов пористости почвы).

Таблица 3.6

Зависимость коэффициента γ от влажности мерзлых среднесуглинистых почв (южные черноземы)

Влажность почвы, % наименьшей влагоемкости	95,0	85,0	70,0	60,0	40,0
Значение γ	0,01	0,03	0,13	0,24	0,37

В ряде работ [80, 91] используется зависимость

$$h = K_t + \sqrt{2KP_k \delta t}, \quad (3.11)$$

где P_k , δ — капиллярный напор и свободная пористость мерзлого грунта.

Формула В. Я. Кулика весьма близка по виду к формуле (3.9). Показатель степени должен увеличиваться, если отбросить первый член в формуле (3.11) и изменить показатель степени так, чтобы опытные точки аппроксимировались одночленной степенной зависимостью.

А. И. Субботин и В. С. Дыгало [179] в результате шестилетних исследований пришли к выводу о том, что «при переувлажненной мерзлой почве в первую половину весны впитывание воды почти не происходит... По мере оттаивания почва теряла избыточную влагу и вновь приобретала способность впитывать воду».

В весьма интересных экспериментальных исследованиях В. Д. Комарова [91] изучалась зависимость водопроницаемости мерзлых песков от их льдистости. В результате выяснилось, что при некоторых значениях P_k и δ зависимость водопроницаемости грунта от льдистости может быть аппроксимирована экспонентой. Однако степень экспоненты меняется в зависимости от диапазона изменения льдистости.

В работе И. Л. Калюжного и др. [80] процесс инфильтрации снеговой воды в мерзлую почву разделен на четыре стадии (фазы): 1) скорость инфильтрации убывает; 2) инфильтрация отсутствует; 3) скорость инфильтрации нарастает; 4) скорость инфильтрации установилась.

В том случае, если запаса холода в мерзлой почве недостаточно для образования льда и заполнения свободных пор, то 1-я фаза инфильтрации может перейти в 3-ю фазу — скорость инфильтрации возрастает, а при полном оттаивании почвы наступает 4-я фаза.

Объем воды, который может поместиться в промерзшем слое до того, как все поры будут заполнены льдом, по В. В. Романову, равен

$$W_i = 0,917P_{об} - W_n + 0,083 W_{св}(0), \quad (3.12)$$

где W_i — объем инфильтрационной воды, вмещающейся в единицу объема почвы; W_n — начальная влажность почвы в долях от объема образца; $W_{св}(0)$ — объем незамерзающей воды при $t=0^\circ\text{C}$; $P_{об}$ — общая порозность почвы.

В тех почвах, которые содержат значительные количества незамерзающей воды, образуется водонепроницаемый «запирающий слой» (термин В. В. Романова), а объем впитывания снеговых вод в этом случае зависит от распределения температуры и влажности почвы по профилю.

Таким образом, анализ литературных источников и материалов экспериментальных исследований автора позволяет сделать следующие выводы.

1. Мерзлые почвы могут пропускать воду при наличии в них полностью или частично свободных от льда пор, трещин и пр., составляющих не менее половины порозности (60—70% НВ). На водопроницаемость мерзлой почвы влияют: а) механический состав почвы; б) оструктуренность почвенного профиля; в) исходная перед промерзанием влажность почвы или, точнее, относительное количество свободных от воды пор в единице объема; г) температура почвы и снеговой воды, находящейся на ее поверхности; д) скрытая теплота льдообразования и др.

2. Скорость фильтрации через мерзлую почву в пересчете на количество тепла, образующегося при замерзании воды, должна быть больше скорости распространения холода из нижележащих слоев, имеющих температуру ниже 0°C.

3. Водопроницаемость мерзлых почвогрунтов зависит, хотя и в меньшей мере, чем от свободной порозности, от температуры поверхностных слоев почвы. Можно считать, что чем меньше влажность по сравнению с половиной порозности (скважности), тем при более низкой температуре может происходить просачивание воды.

4. Водопроницаемость мерзлых почв естественных сельскохозяйственных угодий (целина) выше, чем водопроницаемость почв пахотных участков.

5. Впитывание воды в мерзлые почвы зависит от глубины и мощности «запирающего слоя», характера весны, тепловых свойств почв и других факторов.

При промерзании почвы влага мигрирует в зону кристаллизации воды, а также от мест малого и замедленного промерзания — к местам сильного промерзания почвы. Это приводит к увеличению количества влаги (льда и жидкой воды) в верхних слоях почвы и к уменьшению — в нижних. Полевые и лабораторные опыты [80, 91, 103, 148, 214 и др.] показывают, что в течение зимы наблюдается восходящее движение воды в почвогрунтах.

В результате наших полевых исследований [122, 131] выяснилось, что в процессе промерзания почвы влага в ее слоях перераспределяется: она подтягивается к промерзшим верхним слоям. Наличие миграции влаги в зимний период подтверждается фактическими наблюдениями за изменением запасов влаги в метровом слое почвы по метеостанции Родино [122]. Из опубликованных материалов автора [122, 124] видно, что влажность верхних слоев почвы за морозный период повышается довольно сильно: в промерзшем (метровом) слое за зиму накапливается от 28 до 78 мм влаги*. Содержание влаги в самом верхнем слое почвы (0—30 см) возрастает до 86% НВ. Суммарный запас влаги в двухметровом слое почвы в результате зимней миграции в верхние слои остается практически без изменения. Подобные явления миграции влаги были отмечены многими исследованиями для других районов СССР.

Зимняя миграция влаги в верхние слои почвы приводит к росту количества льда в порах (за счет парообразной и пленочной воды нижележащих слоев) и, следовательно, к уменьшению водопроницаемости верхних слоев почвы весной. Замерзание имеющейся в почве и конденсированной влаги способствует значительному разрыхлению и улучшению водно-физических

* При этом также учитывалось, что объемная масса мерзлой почвы меньше, чем талой [130, 137].

свойств верхнего слоя (объемная масса мерзлой* почвы меньше, чем талой). Это нужно учитывать при расчете оросительных норм для лиманного орошения.

3.5. Склоновый сток снеговых вод

Под склоновым стоком мы подразумеваем сток с одного элемента водосборного бассейна — склона, по которому вода проходит по более или менее однообразной поверхности земли до элементов гидрографической сети.

При проектировании мелководных лиманов на склонах учитывается исключительно склоновый сток. Руслевой сток в этом случае отсутствует полностью. Отсюда возникает вопрос: каковы размеры склонового стока и можно ли его рассчитать по картам изолиний среднего многолетнего стока, составленным на основании данных о стоке в створах крупных рек?

Определение размеров стока с единицы водосборной площади по картам изолиний среднего многолетнего модуля стока, составленным П. С. Кузиным и К. П. Воскресенским [44], может привести к существенной ошибке, так как изолинии обычно не учитывают единичных данных о стоке с малых (меньше 500 км²) и особенно весьма малых бассейнов (десятки и единицы квадратных километров). Малые и весьма малые бассейны по характеру рельефа, почвенно-растительного покрова могут резко отличаться от больших бассейнов. Сток с отдельных малых водосборов также отличается от стока со всего бассейна и с других малых бассейнов.

Самое существенное отличие условий формирования стока с малых водосборов от речных бассейнов состоит главным образом в величине и динамике притока подземных вод. Вполне естественно, что в глубоко врезанные русла рек попадает больше подземных вод, чем в русла ручьев или в лога и балки. Поэтому при сопоставлении стока малых рек и больших речных водосборов следует рассматривать только поверхностную составляющую речного стока.

Вопрос о репрезентативности наблюдений на малых водосборах исследовался и ранее [180]. По мнению Е. С. Змиевой и А. И. Субботина [179], наблюдения на малых водосборах можно рассматривать как один из видов физического моделирования, которое позволяет исследовать отдельные гидрологические явления и процессы, что не всегда можно сделать, располагая данными только по большим речным бассейнам.

Основным экспериментальным объектом при изучении склонового стока в наших исследованиях явились воднобалансовые

* Все физические свойства промерзшего слоя почвогрунта находятся в закономерной связи друг с другом. Поэтому, определив одно из них (например, объемную массу), можно приблизительно определить и все остальные.

(стоковые) площадки. Проводимые на них исследования сочетались с изучением водного баланса малых логов и балок, небольших речных водосборов, а в некоторых случаях и с точечными исследованиями отдельных гидрологических процессов (инфильтрация, испарение с поверхности снежного покрова, парниковый эффект и т. д.). Такая схема экспериментальных объектов: точка — стоковая площадка — ложино-балочная сеть — малый речной водосбор (площадью менее 1000 км²) позволили нам изучить всю постепенно усложняющуюся гамму гидрологических процессов на речном водосборе в условиях степной зоны.

Следует особо подчеркнуть, что длина стоковых площадок должна быть соизмерима с характерной для данного района длиной склонов (в условиях юга Западной Сибири и Урала длина склонов на сельскохозяйственных угодьях составляет в среднем от 40 до 150 м), а площадь достаточно для проведения на них механизированных работ по вспашке. Малые водосборы в наших исследованиях имели площадь от 0,57 до 158 км² и были заняты, как правило, каким-либо одним из ротационных полей основного севооборота или одним естественным угодьем.

Проверка коэффициентов склонового и руслового стока выполнена автором в весенние периоды 1954 — 1957 гг. в Родинском и Панкрушихинском районах Алтайского края, а весной 1957, 1963 и 1964 гг. в Баганском и Куписком районах Новосибирской области. Для этой цели использовались 1-й и 4-й ярусы мелководных лиманов, расположенных на склоне юго-восточной экспозиции, а также площадки малых водосборов балки Зеленый Луг, Новороссийского лога и бассейна Родинского озера (влажность почвы в период наблюдений за стоком на лиманах и на естественных водосборах была практически одинаковой и составляла 0,5—0,6 НВ).

Площади водосборов мелководных лиманов составляли 84 и 57 га. В местах пересечения этих валов с валами мелководного лимана в 1954 г. установлены трапециевидные водосливы (ширина порога 80—120 см), что позволило измерить в чистом виде склоновый сток. Параллельно определялись расходы воды в соседних логах и балках при помощи гидрометрической вертушки (балка Зеленый Луг и Новороссийский лог). Плотность снежного покрова измерялась перед началом снеготаяния и составляла в большинстве случаев 0,28—0,30 г/см³.

Склоны водосбора мелководных лиманов, логов и бассейна Родинского озера одинаковы как по условиям рельефа и почв (южные среднесуглинистые черноземы), так и по характеру сельскохозяйственных угодий на них (преимущественно сенокосы и пастбища). Осенью 1954 г. эти водосборы частично были распаханы на зябь. Снегозапасы в балках и логах составляли в 1954 г. 14% общего запаса на водосборе [131, 133]. В 1954 г. сток со склона равнялся в среднем 62,2 мм, а с Новороссийского лога 77 мм, запас же воды в этом логу составлял 20,4 мм.

В данном случае русловый сток составлял $77-62,2=14,8$ мм, а коэффициент руслового стока $K=0,73$.

В 1955 г. запас воды в ложинно-балочной сети составлял 12%, а в 1956 г. 13% общего запаса на водосборе. В 1956 г. сток со склонов был равен в среднем 11,6 мм, а с Новороссийского лога 18,4 мм, снегозапасы в этом логу составляли 13,2 мм. Русловый сток в 1956 г. был равен $18,4-11,6=6,8$ мм, а коэффициенты руслового стока $K=0,54$.

При расчете коэффициента поверхностного стока расход снега на испарение за период снеготаяния был определен по материалам непосредственных наблюдений автора (0,25 мм/сут), а расход на аккумуляцию в микропонижениях в условиях значительного уклона водосборной площади составил в среднем 5—8 мм.

Ряд авторов считают, что сток в гидрографической сети происходит при большом коэффициенте стока, а коэффициент склонового стока может быть весьма незначительным. Так, например, И. А. Кузник [103], проводивший наблюдения за русловым и склоновым стоком в условиях Поволжья, пришел к выводу, что коэффициент руслового стока (оврагов, балок, логов), т. е. сток от снега, накопившегося только в русле, составляет около 0,84, в то время как коэффициент склонового стока только 0,10—0,12. На основании этих материалов И. А. Кузник считает, что в Поволжье русловый сток составляет в среднем около 20—25% весеннего стока и до 50% стока в маловодный год, а в бассейне р. Узень — до 100% стока в маловодный год.

Наши исследования в Кулундинской степи (Приобское плато) такой закономерности не подтвердили. В многоводные 1954 и 1969 гг. коэффициент стока со средней и приводораздельной частей склона, занятых залежью, доходил до 0,80. Самый малый коэффициент склонового стока, который мы наблюдали на 4-м ярусе мелководных лиманов, был 0,47. Однако это не значит, что он не может быть еще меньше.

Попытаемся рассмотреть основные отличия стока с бассейна реки от стока со средней и нижней частей склонов в Кулундинской степи (Приобское плато) и дать ориентировочные рекомендации по его расчету. Прежде всего сопоставим сток с бассейна небольшой р. Кучук (площадь водосбора 788 км²) со склоновым стоком в совершенно различные по характеру весны 1954—1957, 1963 и 1967—1970 гг.* (табл. 3.7). Склоновый сток измерялся в ложинно-балочной сети, расположенной на водосборе этой же реки.

Из табл. 3.7 видно, что несмотря на различные типы весен, во всех случаях склоновый сток был в 1,5—4 раза больше руслового. Результат близок к данным, полученным Б. Б. Шумаковым [207] для Ростовской области и А. Б. Заводчиковым [70] для Северного Казахстана.

* По материалам автора и Алтайской комплексной экспедиции МГУ [133].

Значение и коэффициент стока р. Кучук и стока
со средних и нижних частей склонов

Год	Сток, мм		Коэффициент стока		Год	Сток, мм		Коэффициент стока	
	русловый	склоно- вый	руслового	склоно- вого		русловый	склоно- вый	руслового	склоно- вого
1954	14,1	62,0	0,14	0,80	1967	16,4	51,8	0,21	0,67
1955	21,7	35,4	0,28	0,70	1968	4,8	14,9	0,18	0,54
1956	2,2	11,6	0,16	0,50	1969	23,2	65,2	0,25	0,79
1957	20,6	55,9	0,22	0,62	1970	15,8	46,3	0,23	0,69
1963	12,8	48,4	0,19	0,58					

Отсюда, естественно, возникает вопрос: почему же данные автора по Западной Сибири, данные А. Б. Заводчикова и Б. Б. Шумакова по Северному Казахстану и Ростовской области (Ергени) так сильно отличаются от данных И. А. Кузника [103] по Заволжью? По нашему мнению, дело тут не в соотношении между значениями стока со склонов и целых водосборов, а в условиях их формирования в отдельных природных зонах. При отсутствии аккумулярующих понижений рельефа на водосборе сток в гидрографической сети (с целого водосбора) всегда будет больше, чем с его склонов, в соответствии с выводами И. А. Кузника по Заволжью. При наличии же многочисленных замкнутых понижений на склонах водосборов (Ишимская и Кулундинская степи, Северный Казахстан, Прикаспийская низменность и Ергени) сток в гидрографической сети (русловой сток) может оказаться значительно меньше, чем на склоне.

Таким образом, полученные нами значения и коэффициенты стока со средних и нижних частей склонов в различные весны могут быть, наряду с другими данными, использованы при водохозяйственных расчетах мелководных лиманов в аналогичных условиях, а выявленные особенности стока учтены при проектировании, устройстве и эксплуатации этого вида лиманов.

При планировании использования водных ресурсов важно оценить изменения стока, происходящие в результате освоения целинных и залежных земель. В опытах А. И. Решетникова, проведенных на Валдайской гидрологической станции, коэффициент весеннего стока со склона, распаханного под зябь, в течение двух лет из трех был значительно меньше, чем со склона, занятого целиной. Аналогичный вывод об уменьшении поверхностного стока во время весеннего снеготаяния на распаханых склонах по сравнению с залежью для Валдая сделал П. А. Урываев [18]. Г. А. Гарюгин [48] и Б. Б. Шумаков [206] отмечают значительное сокращение поверхностного стока после распашки залежей в условиях Приазовья. Эти выводы согласуются и с данными

ми наблюдений на стоковых площадках в Северном Казахстане [60, 200]. Хотя наблюдения велись всего в течение двух лет, все же и здесь обнаружено увеличение влияния зяблевой пахоты на сток с уменьшением водности года.

По данным И. А. Кузника [103], сток с пласта и оборота пласта в условиях Заволжья на черноземных и темно-каштановых почвах отсутствует даже в многоводные годы. С оборота пласта сток наблюдается только при уклонах порядка 0,01 и пахоте вдоль склона. Несколько большие значения стока получаются на старопахке. Особенно резко увеличивается сток на уплотненных полях, занятых травосмесями, залежью и озимыми посевами, где он иногда может быть значительным и в маловодные годы. Сток с зяби возможен, как и с залежи, в годы, когда поверхность почвы покрыта ледяной коркой. Этот вывод И. А. Кузника расходится с ранее сделанными выводами П. Г. Кабанова, согласно исследованиям которого с поля, занятого многолетними травами, сток значительно меньше, чем с зяби и озимых. П. Г. Кабанов рассчитывал сток по изменению влагозапасов в почве, поэтому полученные им данные нельзя считать достоверными.

На черноземах Куйбышевского Заволжья, по данным исследований [180], за последние 18—20 лет весенний сток уменьшился под влиянием зяблевой пахоты (глубина вспашки 20—22 см) в 4,5—5 раз.

В 1955 и 1956 гг. наблюдения за склоновым стоком проводились на Елшанской агрометеостанции в Бузулукском районе Оренбургской области на стоковых площадках размером по 0,2 га. Эти наблюдения показали, что сток с зяби в течение двух лет практически отсутствовал (0,1—0,5 мм), в то время как на выпасе он составил 42—54 мм.

В Актюбинской области Казахской ССР в условиях сухих степей на легких каштановых почвах с 1958 г. ведет свои исследования Западно-Казахстанская стоковая станция. Из пяти лет наблюдений (1958—1962) сток с зяби полностью отсутствовал в течение трех лет (1958—1961), в то время как на целине он отмечался ежегодно (от 5,3 до 21,5 мм) и в среднем за пятилетний период наблюдений оказался в 7,8 раза больше, чем с зяби.

Наиболее обширные и подробные исследования антропогенных влияний на водный баланс ведутся на обыкновенных черноземах сотрудниками Института земледелия имени В. В. Докучаева. Начатые В. В. Докучаевым в 1893 г., они продолжают до наших дней. Основные результаты этих исследований за 36-летний период были обобщены в известной монографии И. П. Сухарева [181].

Большое водорегулирующее действие оказывает зяблевая вспашка, так как она способствует повышению водопроницаемости почвы весной и сокращению стока снеговых вод. Так, например, по наблюдениям И. П. Сухарева, весной 1955 г. коэффициент стока на обычной зяби был равен 0,44, а на безотвальной

глубокой вспашке (глубиной 35—40 см) он составлял 0,28. Весной 1956 г. коэффициент стока на обычной зяби был равен 0,30, а на глубокой отвальной и безотвальной вспашке соответственно 0,04 и 0,08.

Заметное влияние на структуру водного баланса на значительных территориях оказывают пруды и другие водоемы, создаваемые на мелкой гидрографической сети. По данным И. П. Сухарева [181, табл. 61], по пяти водосборам Таловского района Воронежской области с помощью прудов зарегулировано 21,6% стока, что составляет 10,2 мм слоя поверхностного стока.

Наши непосредственные наблюдения весной 1956 г. за склоновым стоком на мелководных лиманах водосбора урочища Саломаткина Ляга (Северная Кулунда), а также со склонов замкнутых понижений (озер) показали, что почти весь весенний сток сформировался на полях, занятых стерней пшеницы и кукурузы, и на целине (выпасаемой степи). С полей, занятых зябью, склоновый сток практически отсутствовал [133, 142].

Уменьшение или почти полное прекращение склонового стока с пахотных угодий объясняется целым рядом причин, а именно: более ранним снеготаянием по сравнению с целиной и оттаиванием почвы сверху; гребнистой поверхностью почвы, препятствующей стоку воды; большей порозностью и водопроницаемостью верхних почвенных слоев. Следовательно, вероятность весеннего наполнения мелководных лиманов снеговыми водами в маловодные годы, когда водосбор полностью распахан на зябь, весьма незначительна. Отсюда вытекает необходимость в предшествующий зимний период обращать внимание на снегонакопление и искусственное снегозадержание на водосборе лиманов и на самих лиманах, с тем чтобы обеспечить дополнительное увлажнение почвы в случае малых значений склонового стока (либо совсем отказаться от устройства лиманов на пашне).

Рассмотрим имеющиеся материалы наблюдений за 1957 г. [125] по бассейну р. Панышихи (Центральная Кулунда). Наблюдения за стоком велись в естественном логу и в трех ручьях. Таяние началось в начале апреля, а сток начался 9 апреля, т.е. с момента установления положительных температур во все три срока наблюдений, и закончился в ручьях 23 апреля, а в логу 5 мая. Весна 1957 г. была поздняя и затяжная.

Исследования не оставляют никаких сомнений в том, что различия в значениях стока с указанных бассейнов малых водосборов объясняются лишь различным соотношением площадей сельскохозяйственных угодий. В остальном водосборы совершенно однородны по условиям рельефа и почвы. Следовательно, в расчетах изменений стока в результате освоения целинных и залежных земель в Кулундинской степи мы считаем целесообразным дифференцированно учитывать сток с распаханной и нераспахиваемой площадей. В условиях Кулундинской степи сток с распаханного водосбора в 3—4 раза [133] меньше, чем с залежного (целина).

Таким образом, в годы с малыми запасами воды на поверхности почвы и большими потерями стока (1956 г.) наблюдаются сравнительно малые значения и коэффициенты склонового и руслового стока. Склоновый сток в 1956 г. составил 11,6 мм, а речной 5,2 мм. Коэффициент стока был равен соответственно 0,50 и 0,16. В годы же с большими запасами воды на поверхности почвы и относительно большими потерями стока (1954 и 1957 гг.) наблюдаются наиболее резкие различия в слоях и коэффициентах склонового и руслового стока. В 1954 г. склоновый сток составил 52,0 мм, речной 14,1 мм, коэффициенты стока соответственно 0,80 и 0,14. При этом, несмотря на различие в типах весны, во всех случаях склоновый сток был в 1,5—3 раза больше руслового.

Поперечная зяблевая вспашка в большей мере регулирует поверхностный сток, чем залежные угодья и поля, находящиеся под стерней и озимыми. Так, коэффициент стока с зяблевой пахоты (1956 г.) был равен 0,13, а на целине (сенокос) и стерне пшеницы соответственно 0,67 и 0,52. Средняя площадь водосбора, распаханная на зябь,—важный показатель, определяющий значение и коэффициент склонового стока.

3.6. Весенний склоновый сток с различных сельскохозяйственных угодий

Изучение влияния наиболее распространенных в сельском хозяйстве приемов агротехники на весенний склоновый сток проводилось в Северной Кулунде, у с. Зятково Купинского района Новосибирской области. На экспериментальном участке в осенние периоды 1962 и 1963 гг. нами было оборудовано девять стоковых площадок размером 800 м² (20×40 м). Почвы на всех площадках представлены среднетугумусными южными черноземами (суглинки), площадки различались лишь характером обработки (по две площадки со стерней пшеницы, одна площадка была вспахана на зябь).

Наблюдения над склоновым стоком с этих угодий и факторами, его обуславливающими, проводились в весенние периоды 1963 и 1964 гг. Измерялись температуры воздуха, количество осадков, влажность почвы, запасы воды в снеге, весенний сток. Глубина промерзания почвы принята по данным Купинской агрометеостанции, расположенной в 500 м от экспериментального участка.

Температура воздуха измерялась в четыре срока (1, 7, 13 и 19 ч). Количество атмосферных осадков определялось осадкомером Третьякова. Влажность почвы определялась по слоям до глубины 0,5 м (в 1964 г. пробы отбирались до глубины 100 см). Запасы воды в снеге определялись с помощью снегомерных съемок по поперечникам. Сток измерялся объемным методом.

Распределение снежного покрова перед снеготаянием на пло-

щадках в 1963 г. было более или менее равномерным. Запасы воды в снеге были близки к среднегодовым (70—80 мм). Некоторые отклонения отмечались лишь на площадках 2а (пахота безотвальная) и 4а (пар чистый), где запасы воды составляли соответственно 103,5 и 59,5 мм. Глубина промерзания почвы в 1963 г. была равна 120 см. Продуктивная влага в верхнем полуметровом слое определялась на трех площадках (1, 2, 3) и составляла от 53 до 74 мм [130].

Весной 1963 г. снеготаяние на стоковых площадках проходило исключительно при ясной погоде, а весной 1964 г., наоборот, преобладала пасмурная погода. При этом отмечалась большая интенсивность снеготаяния и были явно выражены суточные волны в стоке с площадок (рис. 3.6). Однако объем этих волн и их максимумы на различных угодьях были неодинаковыми. Так, например, на стерне пшеницы лушеной и нелушеной (площадки 1, 1а, 3, 3а) и на пару (площадки 4, 4а) максимум половодья был отмечен 8 апреля. На отвальной пахоте (зябь) и безотвальной (площадки 2, 2а и 5) максимальный расход зарегистрирован лишь 11 апреля и паводочная волна была значительно ниже, чем на других стоковых площадках (стерня и чистый пар).

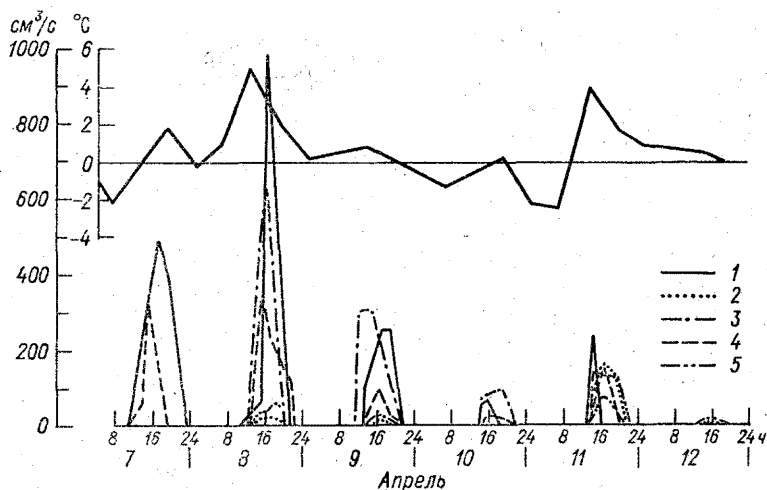


Рис. 3.6. Температура воздуха и сток со стоковых площадок, с. Зятковка Купинского района Новосибирской области, 1963 г.
1 — стерня нелушенная, 2 — зябь безотвальная, 3 — стерня лушенная, 4 — чистый пар, 5 — зябь отвальная.

Из материалов наблюдений [133] видно, что лишь половина общих запасов воды в снеге идет на формирование стока и увлажнение верхнего полуметрового слоя почвы. Остальная часть снеговой воды расходуется, по-видимому, на неучтенное нами испарение с поверхности снежного покрова и с оголенной почвы,

а также на просачивание в слой второго полуметра. Для выяснения этого явления нами в 1964 г. был проведен отбор почвенных проб на влажность до глубины 100 см (инфильтрация в мерзлую почву происходит в том случае, когда влажность почвогрунтов ниже 60% НВ).

Величина поверхностного стока зависит от характера сельскохозяйственной обработки поля. Наиболее интенсивно снеговые воды поглощались на площадках, распаханых поперек склона на зябь с отвалом и без отвала (площадки 2, 2а и 5). Коэффициенты стока на этих угодьях составляли всего лишь 0,04—0,05, а слой стока 3—4 мм. Наибольшие коэффициенты стока в полевом эксперименте нами наблюдались по нелущеной стерне пшеницы (площадки 1 и 1а), где они составили 0,47 и 0,62 при слое стока соответственно 37,9 и 48,7 мм. На лущеной стерне пшеницы и на чистом пару (площадки 3, 3а и 4) коэффициенты стока были от 0,19 (чистый пар) до 0,32 (лущеная стерня), а слой стока 14,9 и 26,7 мм соответственно.

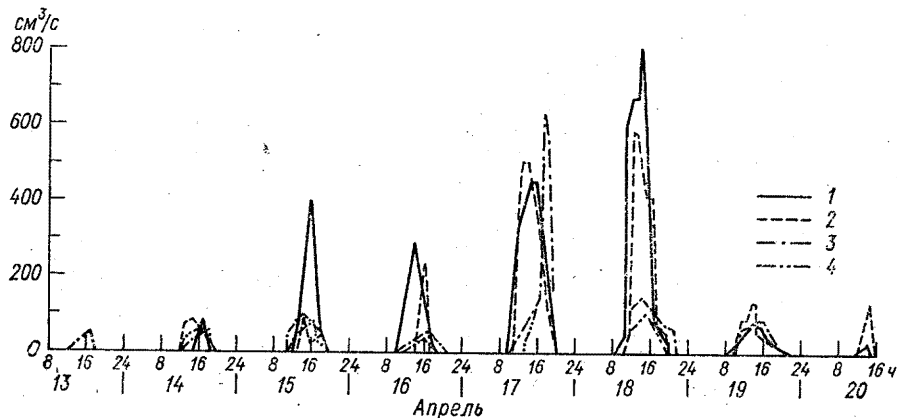


Рис. 3.7. Склоновый сток с различных сельскохозяйственных угодий, с. Зятковка Купинского района Новосибирской области, 1964 г.
1 и 2 — 1-я и 2-я площадки, стерня пшеницы (нелущеная), 3 и 4 — 3-я и 4-я площадки, стерня кукурузы (лущеная).

Аналогичные материалы по весеннему поверхностному стоку с различных сельскохозяйственных угодий на том же экспериментальном участке были получены весной 1964 г. (рис. 3.7). Здесь снеговые воды наиболее интенсивно перехватывались также на безотвальной зяби при распашке поперек склона (площадки 5 и 6), где коэффициент стока составил всего лишь 0,02, а слой стока 0,6—0,9 мм. Наибольшие коэффициенты стока в эксперименте 1964 г. были отмечены на нелущеной стерне пшеницы (площадки 1 и 2), где они составили 0,38 и 0,73, а слой стока 26,8 и 21,3 мм. Сравнительно большая разница (в 2—3 раза) между значениями стока со стерни кукурузы и со стерни

пшеницы объясняется также различиями в основной обработке. Стерня пшеницы была нелущеная, а стерня кукурузы — лущеная. Этим же обстоятельством определяется и разница в максимальных снегозапасах на данных угодьях. Следовательно, весенний сток зависит в основном от характера основной обработки почвы и применяемой агротехники. Поперечная зяблевая вспашка в большей степени регулирует поверхностный сток, чем стерня и поля, занятые чистым паром.

Приведенные значения склонового стока с основных сельскохозяйственных угодий Северной Кулунды хорошо согласуются с результатами наших более ранних исследований на Приобском плато [125]. Регулирующее влияние зяби на сток на более изрезанном Приобском плато ниже, чем в Северной Кулунде. Коэффициенты и слой стока на зяби сравниваемых геоморфологических районов Кулунды отличаются почти в 4 раза.

3.7. Сток с засоленных почв

Полевой эксперимент по изучению режима весеннего склонового стока с засоленных почв был поставлен в Центральной Кулунде, у с. Зеленая Поляна Ключевского района Алтайского края. Для этой цели осенью 1962 г. было оборудовано четыре стоковых площадки площадью по 800 м² (40×20 м), из них две — на глубокостолбчатых солонцах и две — на содовых солончаках с высокой степенью засоления. Все площадки имели естественный покров (целина).

Наблюдения за склоновым стоком с засоленных почв и факторами, его обуславливающими, проводились автором весной 1963 г. в составе Кулундинской экспедиции Сибирского отделения АН СССР и были продолжены в 1967—1970 гг. в составе Алтайской комплексной экспедиции МГУ (табл. 3.8).

Наблюдения проводились за температурой воздуха, количеством осадков, влажностью почвы, запасами воды в снеге и стоком на каждой площадке. Данные о глубине промерзания почвы взяты на Ключевской агрометеостанции.

Распределение снежного покрова на стоковых площадках к концу второй декады марта 1963 г. было неравномерным. Снегозапасы на стоковых площадках колебались от 44,5 до 66,2 мм на солончаках и от 32,3 до 61,5 мм на солонцах. Снеготаяние в Центральной Кулунде весной 1963 г. было затяжным и прерывистым. Сток на всех площадках отмечен 18 марта. В результате резкого похолодания 20 марта сток прекратился. На 4-й площадке (солонцы) его больше не было. На других же площадках основное половодье сформировалось 26 марта, когда температура воздуха в результате общего потепления даже в ночное время стала положительной (рис. 3.8). Коэффициенты стока на площадках солончаков составили 0,41 и 0,70, а слой стока соответственно 18,4 и 46,0 мм. Различие в стоке на солончаках объясняется разными запасами воды на площадках (44,5 и 66,2 мм).

Таблица 3.8

Весенний склоновый сток на солончаках (1-я и 2-я стоковые площадки) и на солонцах (3-я и 4-я стоковые площадки)

Год	Номер стоковой площадки	Снегозапасы + осадки в период снеготаяния, мм	Сток, мм	Коэффициент стока
1963	1	44	18,4	0,41
	2	66	46,0	0,70
	3	32	5,5	0,17
	4	62	1,9	0,03
1967	1	59	36,1	0,53
	2	62	42,0	0,68
	3	66	10,2	0,15
	4	61	4,4	0,07
1968	1	32	16,4	0,52
	2	28	20,1	0,72
	3	30	2,3	0,08
	4	25	1,4	0,06
1969	1	114	64,5	0,57
	2	110	63,8	0,58
	3	119	14,5	0,12
	4	112	6,8	0,06
*1970	1	61	33,4	0,52
	2	65	42,1	0,63
	3	63	8,3	0,12
	4	68	4,2	0,07
В среднем за 5 лет	1	62,5	33,7	0,54
	2	66,4	42,8	0,65
	3	61,8	8,1	0,13
	4	65,5	3,7	0,06

В более ранних исследованиях автор установил, что водопроницаемость солончаковых почв в Кулундинской степи лишь в первый час составляет около 4 мм. По мере дальнейшего увлажнения водопроницаемость содовых солончаков резко изменяется и уже к третьему часу опыта она падает до 2 мм/ч и менее [130, 133].

На солонцах весной этого же года получили результаты, весьма отличные от рассмотренных выше. Несмотря на то что запасы воды на 3-й и 4-й площадках (солонцы) составляли 32,3 и 61,5 мм, т.е. были примерно такими же, как на 1-й и 2-й площадках (солончаки), коэффициенты стока на солонцах получались значительно меньше (0,17 и 0,03), а слой стока 5,5 и 1,9 мм. Эти данные показывают, что не следует ожидать существенного повышения стока со среднестолбчатых и глубокостолбчатых солон-

цов даже после многоснежной зимы и влажной предшествующей осени. Так, например, весной 1969 г. при исключительно многоснежной зиме (высота снежного покрова была более 100 см) поверхностный сток на солончаках составил 14,5 и 6,8 при коэффициентах стока 0,12 и 0,06, а на солончаках 64,5 и 63,8, при коэффициентах стока 0,57 и 0,58.

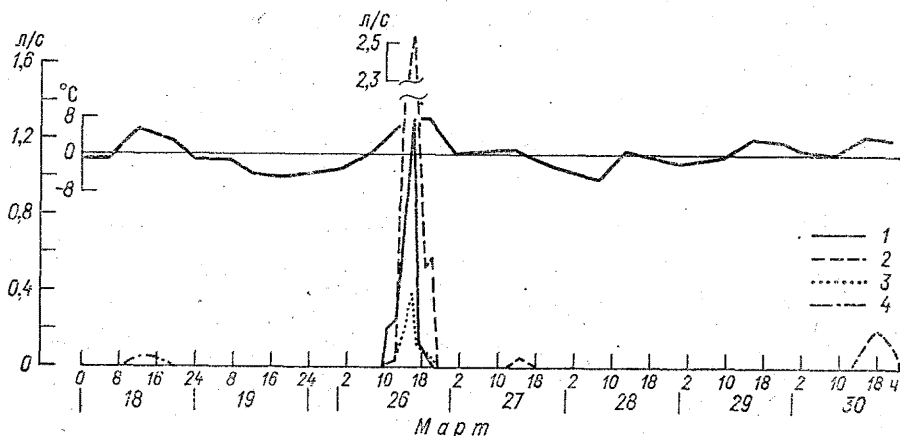


Рис. 3.8. Температура воздуха и склоновый сток с засоленных почв, с Зеленой Поляны Ключевского района Алтайского края, март 1963 г.
1 и 2 — 1-я и 2-я площадки, солончаки, целина, 3 и 4 — 3-я и 4-я площадки, солонцы, целина.

Для анализа полученных фактических материалов по стоку с засоленных почв рассмотрим данные Алтайской комплексной экспедиции МГУ по механическому составу и водно-физическим свойствам засоленных почв опытного участка [130]. Глубоко-столбчатым солонцам свойственна дифференцированность профиля по механическому составу. Верхний надстолбчатый горизонт обеднен илистыми частицами. В нем преобладают крупнопылеватая, а также песчаная фракции. Солонцы степных районов имеют в основном более легкий механический состав, их надстолбчатые горизонты более опесчанены и содержат меньше ила, чем те же горизонты солончаков.

Содовые солончаки по механическому составу тяжелосуглинистые. Характерной особенностью механического состава их является малое содержание в них песка и высокое — пыли, что указывает на повышенную капиллярность и слабую водопроницаемость.

Изменение водно-физических свойств по отдельным горизонтам солонцов также подчеркивает дифференциацию строения их профиля. Это особенно четко отражают показатели объемной массы. Характерная для верхнего, надстолбчатого горизонта со-

лонцов небольшая объемная масса (0,92—0,99) свидетельствует о его слабой уплотненности. В связи с высокой порозностью (59,6—60,8%) гумусовый горизонт глубокостолбчатых солонцов обладает хорошей влагоемкостью и сравнительно небольшой влажностью завядания. Это обуславливает широкий диапазон активной влаги и ее высокую подвижность в гумусовом горизонте.

Для содовых солончаков характерна довольно высокая уплотненность верхних горизонтов. С глубиной объемная масса увеличивается, а общая порозность и влагоемкость уменьшаются. Весьма характерны для содовых солончаков большие значения максимальной гигроскопичности и влажности завядания, которые обусловлены тяжелым механическим составом и высокой степенью засоленности этих почв. Диапазон активной влаги в солончаках более узкий. Водопроницаемость содовых солончаков очень низкая — не более 2 мм/ч, что и обусловило сравнительно большие значения слоя склонового стока за все годы наблюдений [130, 133].

В заключение настоящего раздела попытаемся методом множественной корреляции определить долю вклада каждого из основных факторов формирования склонового стока по материалам наблюдений автора [131] на стоковых площадках в условиях Приобского плато за десять лет (1954—1963 гг.).

Из разд. 3.1 видно, что основными факторами формирования весеннего стока Y в условиях степной зоны являются максимальные снегозапасы X , осеннее увлажнение почвы Z и интенсивность снеготаяния $t_{ин}$, т. е. $Y=f(X, Z, t_{ин})$.

Примем обозначения: R — общий коэффициент множественной корреляции; $r_{yx}, r_{yz}, r_{yt}, r_{xz}, r_{xt}, r_{zt}$ — парные коэффициенты корреляции между столбцами соответствующих исходных значений рассматриваемых переменных; $\alpha_x, \alpha_z, \alpha_t$ — коэффициенты регрессионной модели.

Доля вклада в уравнение регрессии определяется:

$$\sigma_x = \frac{|\alpha_x r_{yx}|}{R_0^2}, \quad \sigma_z = \frac{|\alpha_z r_{yz}|}{R_0^2}, \quad \sigma_t = \frac{|\alpha_t r_{yt}|}{R_0^2}.$$

Если для какого-нибудь аргумента доля вклада окажется незначительной, например, если $\sigma_t < 2(\sigma_{R_0^2}/R_0^2)$, то этот аргумент неэффективен и его целесообразно исключить из числа рассматриваемых. В этом случае строится новое уравнение регрессии, не учитывающее влияния исключенного фактора.

В нашем случае получим следующее уравнение регрессии:

$$\tilde{Y} = 0,591\tilde{X} + 0,420Z - 0,961t_{ин} - 32,35, \quad (3.13)$$

$$R_0 = 0,9786.$$

Вклады аргументов: $\delta_x = 0,686 = 68,6\%$; $\delta_z = 0,258 = 25,8\%$; $\delta_t = 0,056 = 5,6\%$. Значение $2(\sigma_{R_0^2}/R_0^2) = 0,066$. Очевидно, что $\delta_t = 0,056$ меньше 0,066, и поэтому влияние фактора интенсивности

снеготаяния может быть исключено (это объясняется, очевидно, тем, что в большинстве случаев в Западной Сибири таяние снежного покрова происходит при ясной погоде, а интенсивность снеготаяния из года в год более или менее постоянна по значению и мало изменяется).

Возникает новое уравнение регрессии

$$Y = 0,531X + 0,435Z - 36,64, \\ R_0 = 0,9761. \quad (3.14)$$

Вклады аргументов: $\delta_x = 0,697 = 69,7\%$, $\delta_z = 0,303 = 30,3\%$. Значение $2(\sigma_{R_0^2}/R_0^2) = 0,069$, т. е. все аргументы вносят свой эффективный вклад в упомянутое уравнение.

Применим метод нормализации для выявления связей между функцией Y и аргументами Z и t . Нормализуя основные факторы стока и проводя расчеты с помощью ЭВМ, получим уравнение нормализованной регрессии

$$\tilde{U}_0 = 0,75U_1(X) + 0,27U_2(Z) + 0,05U_3(t_{ин}), \\ R_0 = 0,964. \quad (3.15)$$

Вклады аргументов: $\delta_x = 0,756 = 75,6\%$; $\delta_z = 0,208 = 20,8\%$; $\delta_t = 0,036 = 3,6\%$. Значение $2(\sigma_{R_0^2}/R_0^2) = 0,112$. Очевидно, что только δ_t меньше 0,112, и поэтому влияние фактора $t_{ин}$ может быть исключено.

Возникает новое уравнение нормализованной регрессии

$$\tilde{U}_0 = 0,79U_1(X) + 0,25U_2(Z), \\ R_0 = 0,963. \quad (3.16)$$

Вклады аргументов: $\delta_x = 0,801 = 80,1\%$; $\delta_z = 0,199 = 19,9\%$. Значение $2(\sigma_{R_0^2}/R_0^2) = 0,106$, т. е. оба аргумента вносят свой эффективный вклад в данное уравнение. Относительно высокие коэффициенты корреляции (0,96) характеризуют вполне удовлетворительную связь трех переменных, что позволяет рекомендовать зависимость (3.16) для практических расчетов.

Кривые связи между исходными данными материалов фактических наблюдений и нормализованными переменными представлены на рис. 3.9. На рис. 3.9 показаны: $U_1(X)$ — нормализованные значения максимальных снегозапасов, сложенных с весенними осадками; $U_2(Z)$ — нормализованные значения осеннего увлажнения почвы; $\tilde{U}_0$ — регрессионное значение склонового стока.

Таким образом, основными факторами формирования весеннего стока являются снегозапасы, сложенные с весенними осадками в период снеготаяния, и осеннее увлажнение полуметрового слоя почвы. Оба эти фактора вносят существенный вклад в уравнение регрессии (3.16).

Расчеты проводились автором по методикам, изложенным в известных математических руководствах и в монографии Г. А. Алексеева [6], с помощью ЭВМ «Наири-2» по программе, составленной в отделе вычислительных работ УралНИИВХ.

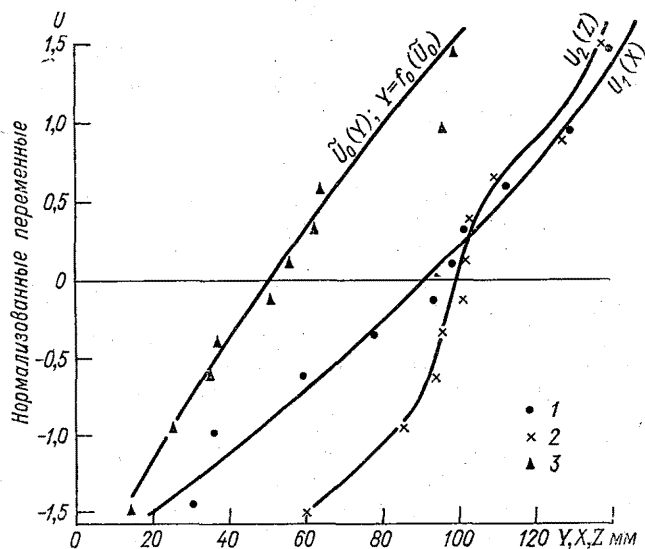


Рис. 3.9. Кривые связи между исходными и нормализованными переменными.
1— $U_1(X)$; 2— $U_2(Z)$; 3— $U_0(Y)$.

3.8. Распределение поверхностного стока по основным элементам водосбора

Исследование распределения снежного покрова по морфологическим элементам малых водосборов имеет большое значение для выяснения механизма формирования поверхностного стока. Если на приводораздельных частях склонов (вершинах) поверхностный сток имеет сравнительно замедленный характер и преобладающая часть снегозапасов теряется, то в нижней и средней частях склонов потери значительно меньше, т. е. эти элементы рельефа являются наиболее благоприятными для формирования снеговых вод. Отсюда очевидно, что составлять баланс поверхностного стока целесообразно по отдельным морфологическим элементам водосбора.

Рассмотрим прежде всего распределение потерь на поверхности водосбора. Как указывалось, вследствие своеобразного морфологического строения Обь-Иртышского междуречья и значительной распайки (особенно в последние годы в связи с освоением целины) приводораздельные части склонов (вершины) являются областями, где преобладают потери поверхностного

стока. Непосредственные наблюдения за поверхностным стоком с малых водосборов в 1954—1957 гг. показали, что с распаханых площадей поверхностный сток незначителен. Надо полагать, что при дальнейшем улучшении агротехники в данных районах сток с зяби в маловодные годы будет практически отсутствовать.

Гидрографическая сеть является областью концентрации поверхностного стока. Потери на инфильтрацию и аккумуляцию здесь невелики, вследствие чего коэффициенты руслового стока с малых водосборов относительно высоки. На средних и нижних частях склонов коэффициенты стока могут быть различными, и установить приближенное значение этих коэффициентов для всей рассматриваемой территории трудно.

Сплошная распахка, наличие микропонижений, малые уклоны — все это уменьшает коэффициенты стока на приводораздельных частях склонов. Для приближенных расчетов можно принять, что коэффициент стока с этих частей водосбора (вершины склонов) после многоснежной зимы составляет примерно 0,20 и колеблется от 0,10 до 0,05 для других типов зим (средних и малоснежных).

Полагая на основании данных наблюдений [131], что коэффициент стока с малых водосборов на Приобском плато для многоводных лет составляет 0,6, для условий, близких к средним, 0,5 и для маловодных лет 0,35, можно попытаться вычислить коэффициент стока для средних и нижних частей склонов (при этом в качестве аналогов, по-видимому, можно принять данные фактических наблюдений за стоком для лет разной водности на первом ярусе лимана).

Зная коэффициенты стока с отдельных элементов рельефа и снегозапасы на них (см. табл. 3.3), можно составить общий баланс поверхностного стока для малого водосбора в целом, учитывая при этом характер сельскохозяйственных угодий бассейна (табл. 3.9). Элементы водного баланса в табл. 3.9 были определены по известному уравнению Д. Л. Соколовского [174]. Как видно из табл. 3.9, основная часть поверхностного стока с малых водосборов (62—75% суммарного) формируется за счет вод, стекающих со средней и нижней частей склонов. Значительно меньше приходится на долю руслового стока.

Потери стока на речном водосборе в общем случае распределяются по-иному. В многоводные годы и годы, близкие по условиям к средним многолетним, значительная часть потерь стока (около 50%) возникает за счет вод, стекающих с приводораздельной части склонов, причем доля потерь стока со средних и нижних частей склонов в этих условиях остается весьма большой. В маловодные же годы основная часть потерь стока (58%) приходится на долю средних и нижних частей склонов, несколько меньше (39%) — на долю приводораздельной части водосбора. Потери стока в гидрографической сети сравнительно небольшие (3%).

Таблица 3.9

Баланс поверхностного стока на основных элементах малого водосбора

Тип зимы	Запас воды в снеге, мм	Элемент	Площадь, % общей площади водосбора	Снего- запасы, мм	Кoeffици- ент стока	Поверхностный сток		Потери	
						мм	% сум- марного	мм	% сум- марного
Многоснежная	100	Приводораздельная часть	25	18,0	0,20	3,6	5,3	14,4	45,0
		Склоны	71	65,0	0,80	52,0	76,4	13,0	40,6
		Гидрографическая сеть	4	17,0	0,73	12,4	18,3	4,6	14,4
Средняя	80	Приводораздельная часть	25	18,4	0,10	1,9	4,2	16,5	46,7
		Склоны	71	50,5	0,70	35,4	79,2	15,1	42,8
		Гидрографическая сеть	4	11,1	0,67	7,4	16,6	3,7	10,5
Малоснежная	35	Приводораздельная часть	25	8,4	0,05	0,5	3,4	7,9	37,4
		Склоны	71	23,2	0,50	11,6	83,6	11,6	55,0
		Гидрографическая сеть	4	3,4	0,54	1,8	13,0	1,6	7,6

Наблюдения за стоком на малых водотоках и стоковых площадках в течение ряда лет (1954—1958, 1963—1969 гг.), в которые входили годы как с низкой, так и со средней и с повышенной водностью, выявляют ясно выраженный внутрисуточный ход стока и его потерь. Склоновый сток, как правило, прекращается сразу же после прекращения водоотдачи, т. е. в 19—21 ч, и возобновляется в 9—10 ч утра. Склоновый сток на сельскохозяйственных угодьях начинается при покрытости снегом склонов в среднем на 60—70%, а русловый сток (в логах и балках)—при покрытости водосборов снегом в среднем на 30—40% [135].

Проверочные расчеты потерь снеговых вод на инфильтрацию в почву за период половодья, выполненные по данным наблюдений автора на малых водосборах бассейна р. Кучук (1954—1958 и 1967—1969 гг.), дали удовлетворительные результаты: отношение средней квадратичной погрешности рассчитанных значений потерь $\bar{S}$ к среднему квадратичному отклонению от нормы σ составило 0,53 для Новороссийского лога и 0,55 для балки Зеленый Луг. Точность расчета потерь, как справедливо заметил А. И. Субботин [179], определяется надежностью измерения запасов влаги в метровом слое почвы.

3.9. Норма лиманного орошения

Оросительные нормы при лиманном орошении изучены еще совершенно недостаточно. Имеются самые разнообразные, иногда противоречивые рекомендации по нормам и длительности затопления при лиманном орошении. Так, по данным Н. С. Горюнова [54] и М. С. Сабирова [163], оросительная норма при лиманном орошении трав, озимых и яровых культур в Казахстане изменяется от 2000 до 4500 м³/га и более. Эти авторы для орошения естественных (луговых) трав рекомендуют оросительную норму 4000 м³/га при длительности затопления на глубоководных лиманах до 20—25 суток [451]. Н. С. Горюнов [54] указывает, что оптимальное увлажнение при лиманном орошении в Северном и Центральном Казахстане достигается при оросительной норме в 2500—4000 м³/га, а продолжительность затопления лиманов 8—12 суток считает короткой.

В. С. Дмитриев [63] и Н. С. Кистанов [86] для лиманов Поволжья (Саратовская область) считают достаточной оросительную норму 2500 м³/га, так как при больших нормах (5000—9000 м³/га) происходит заболачивание участков лиманного орошения, зарастание их осокой и тростником. А. Г. Ларионов [107] рекомендует норму лиманного орошения для условий Заволжья 2000 м³/га. Однако Р. Э. Кригер на основании опытных данных лиманного стационара в Поволжье пришел к выводу, что оросительная норма из расчета насыщения до полной влагоемкости слоя почвы в 2 м составляет 5000 м³/га

при промерзании до 0,3 м и 4400 м³/га — при промерзании до 0,8 м [102].

И. В. Ларин [108] считает, что пырей ползучий не выдерживает затопления свыше 30 суток и что для получения урожая 5—6 т/га надо затоплять его на 20—25 суток слоем воды 40—45 см (4000—4500 м³/га). Рекомендуемые оросительные нормы при лиманном орошении лесных полос не превышают 2000—2500 м³/га [106, 112].

Разнобой и противоречия в этих рекомендациях — результат недостаточности фактических наблюдений и экспериментальных работ на искусственных глубоководных и мелководных лиманах при различных почвенно-геологических условиях и режимах затопления [99].

Для определения оросительной нормы M м³/га при лиманном орошении на почвах среднего и тяжелого механического состава пользуются выражением А. Н. Костякова [98].

$$M = 100(\beta - \rho)HA, \quad (3.17)$$

где H — глубина увлажняемого слоя, м; A — скважность почвы, % объема; β — наименьшая влагоемкость почвы, доли скважности; ρ — влажность почвы к началу затопления лимана, доли скважности.

Данный способ расчета основан на принципе насыщения почвы до наименьшей влагоемкости в пределах увлажняемого слоя. Определение A , β и ρ не представляет особых затруднений и проводится теми же способами, что и при регулярном орошении. Важно правильно установить глубину увлажняемого слоя H , от которого главным образом и зависит оросительная норма.

По мнению И. Б. Вольфцуна [40], нормы лиманного орошения целесообразно рассчитывать с учетом глубин залегания и минерализации грунтовых вод. При глубоком залегании грунтовых вод (7—10 м и более) этот автор рекомендует норму лиманного орошения определять по уравнению

$$M = AH(\beta - \rho) + 18\tau - X, \quad (3.18)$$

где τ — продолжительность затопления лимана, сутки; X — осадки за период затопления лиманов.

При расположении грунтовых вод на небольшой глубине (до 3—5 м) И. Б. Вольфцун рекомендует определять норму лиманного орошения по формуле

$$M = A_1H(\beta - \rho) + A_2H_n(B_1 - B_2) + 18\tau - X, \quad (3.19)$$

где A_1 , A_2 — скважность почвы в слоях H и H_n , % объема; B_1 и B_2 — соответственно полная влагоемкость и влажность почвогрунтов в слое H_n к началу затопления лимана, % скважности.

Различия между оросительными нормами, рассчитанными по формулам (3.18) и (3.19), сравнительно невелики, и сами они

весьма близки к данным, полученным по материалам фактических наблюдений в 1964—1966 гг. в Западно-Казахстанской экспедиции ГГИ на Олентинском и Баксайском экспериментальных лиманах (Кустанайская область). Следовательно, этими формулами можно пользоваться при расчете оросительных норм в условиях Северного Казахстана.

Для лиманов, используемых в качестве естественных сенокосов, И. А. Кузник [103] рекомендует определять норму лиманного орошения по следующей зависимости:

$$M = KH(\Pi - m) - P + E, \quad (3.20)$$

где K — коэффициент, учитывающий потери воды за пределы расчетного слоя почвы; H — глубина расчетного слоя почвы, м; Π — предельная влагоемкость метрового слоя почвы, м³/га; m — мертвый запас для метрового слоя почвы, м³/га; P — осадки за осенне-зимний период, м³/га; E — испарение (со снежной и водной поверхности лиманов), м³/га.

Б. Б. Шумаков [206] рекомендует оросительную норму при лиманном отношении определять по следующей зависимости:

$$M = K_b Y - 10\mu_1 \Sigma P_1 - 10\mu_2 \Sigma P_2 - 10\mu_3 \Sigma P_3 - W_r, \quad (3.21)$$

где M — норма лиманного орошения, м³/га; K_b — коэффициент водопотребления, м³/т; Y — плановая урожайность сельскохозяйственных культур, т/га; μ_1, μ_2, μ_3 — коэффициенты использования осадков, выпадающих соответственно в вегетационный, теплый и холодный невегетационный периоды; $\Sigma P_1, \Sigma P_2, \Sigma P_3$ — суммы осадков, выпадающих соответственно в вегетационный, теплый и холодный невегетационный периоды, мм; W_r — объем грунтовых вод, который используют растения (при залегании их ближе 3,0 м), м³/га.

Оросительная норма при лиманном орошении, вычисленная нами по формуле (3.21), для многолетних трав (люцерны) в условиях Приобского плато (Баево, Родино, Хабары) составляет 2800 м³/га, а для однолетних трав (сорго, суданка) и корнеплодов — соответственно 2200 и 2000 м³/га.

Однако перечисленные выше формулы не могут быть использованы для определения оросительных норм в Западной Сибири и на Урале, так как здесь большие глубины промерзания почв и поэтому затопление лиманов, как правило, проходит по мерзлой почве. На Северном Кавказе и в Поволжье весной лиманы затапливаются, как правило, по оттаявшей почве.

Экспериментальные стационарные исследования показали, что при ориентировочных расчетах фактических норм лиманного орошения сенокосных и пахотных угодий в Кулундинской степи (Приобское и Павлодарское плато, Северная Кулунда) необходимо учитывать глубину промерзания и динамику оттаивания почвы, условия впитывания в мерзлую почву, а также начальную

влажность перед наполнением лиманов и количество воды, впитавшейся до наименьшей влагоемкости в двухметровом слое почвы. Следовательно, оросительную норму M при лиманном орошении степных районов юга Западной Сибири рекомендуется определять по формуле *

$$M = 100H_1A_1(\Pi_1 - \rho_1) + 100H_2A_2(\Pi_2 - \rho_2), \quad (3.22)$$

где H_1 , A_1 , Π_1 — соответственно глубина увлажнения, скважность и наименьшая влагоемкость промерзшего слоя почвогрунтов на луговых и полевых лиманах; H_2 , A_2 , Π_2 — глубина увлажняемого слоя, скважность и НВ для талого слоя почвогрунта; ρ_1 и ρ_2 — влажность почвы к началу затопления лиманов соответственно для мерзлых и талых слоев почвогрунта, доли скважности.

При определении глубины увлажняемого слоя для лиманного орошения автор исходил из следующих положений:

1) снижение влажности почвы ниже 65—70% НВ (что соответствует ВРК или ВЗР) на среднесуглинистых почвах неблагоприятно для роста и развития трав и кормовых культур и, по возможности, не должно допускаться в весенне-летние месяцы (апрель—июнь);

2) в течение вегетационного периода корни многих сельскохозяйственных культур и трав достигают двухметровой глубины, и иссушение почвенных горизонтов происходит также в основном с этой глубины.

Оросительные нормы, рассчитанные по формуле (3.22), для среднесуглинистых почв составляют в среднем 3000 м³/га при глубине промерзания почвы 0,9—1,0 м и 2700 м³/га при глубине промерзания до 1,5 м. Интересно отметить, что наши данные для Павлодарской области весьма близки к данным, полученным И. Б. Вольфуном для Баксайского лимана Гурьевской области, хотя он проводил расчет оросительных норм по другой методике.

Благодаря глубокой весенней влагозарядке динамика влажности почвы лимана изменяется не только в весенний, но и в летние месяцы. В то время как процесс иссушения почвы неорошаемого участка фактически прекращается в мае, в лимане убыль запасов влаги происходит до глубокой осени, и конечный остаточный запас в почве лимана значительно больше, чем на неорошаемом участке. При лиманном орошении не наблюдается характерного для засушливых степей периода глубокой почвенной засухи, когда основной запас продуктивной влаги исчерпывается во время вегетации и влажность почвы в течение длительного времени близка или равна влажности завядания.

* В связи с тем, что в период затопления лиманов (апрель) испарение и естественные осадки незначительны (менее 10 мм), они в число составляющих водного баланса не входят.

3.10. Расчетный объем стока для лиманного орошения

Лиманное орошение должно проектироваться на сток 25—35%-й обеспеченности. При этом необходимо регулировать не запасы воды, создаваемые в многоводные годы для расхода ее в мало-водные, а запасы кормов, которые могут быть получены с дополнительных площадей лиманного орошения в многоводные годы.

Для ориентировочных расчетов при проектировании лиманного орошения в табл. 3.10 приведены размеры среднего весеннего стока и водосборной площади, необходимых для устройства 1 га лиманов в основных геоморфологических районах степной зоны Срединного региона.

Таблица 3.10

Размеры весеннего стока и водосборной площади, необходимых для проектирования 1 га лиманного орошения в степной зоне *

Геоморфологический район	Пойменные и глубоко-водные лиманы		Мелководные склоновые лиманы	
	весенний сток 50%-й обеспеченности, мм	площадь водосбора, га	весенний сток 25%-й обеспеченности, мм	площадь водосбора, га
Приобское плато (Алтайский край)	16—19	19—16	48—56	7—5
Северная Кулунда (Новосибирская область)	12—17	25—18	35—50	8—6
Прииртышская пониженная равнина (Павлодарская область)	—	—	30—40	10—7
Тургайское плато (Кустанайская и Тургайская области)	10—17	30—20	25—40	12—8
Тоболо-Ишимская степь (Курганская и Тюменская области)	14—18	21—17	45—52	7—6
Сыртовое Заволжье (Оренбургская область)	40—55	8—6	65—85	5—4

* В основу расчета принят сток 25-й и 50%-й обеспеченности и норма лиманного орошения 3000 м³/га.

Исследование стока с малых водосборов, площадью несколько квадратных километров, или с отдельных склонов, проведенное нами на Приобском плато и в Зауралье [131, 133], Е. Д. Сабо [164]—в Поволжье и Б. Б. Шумаковым [207]—в Ростовской области, показало, что сток со склона в два—три раза и более превышает сток данной реки, определенный по русловым замерам. К выводу об относительно большей величине стока на малых водосборах, чем на крупных, привели также исследования экспедиций ГГИ в 1955—1958 гг. в районах освоения целинных и залежных земель [37, 75, 200].

В табл. 3.11 для условий степной зоны Срединного региона приведены переходные коэффициенты от стока средних рек с площадью водосбора 3—20 тыс. км² к стоку малых водосборов (менее 3 тыс. км²). Табл. 3.11 составлена на основании многолетних исследований автора по определению склонового и руслового стока в Алтайском крае, Павлодарской и Новосибирской областях (1954—1969 гг.), Курганской и Оренбургской областях (1971—1978 гг.). Поэтому наши данные существенно отличаются от данных табл. 4 в «Инструкции по проектированию лиманного орошения» [77], полученных расчетным путем или же по карте среднего слоя весеннего стока. Кстати говоря, в упомянутой табл. 14 [77] поправочные коэффициенты для Павлодарской

Таблица 3.11

Переходные коэффициенты K от стока средних рек ($F=3-20$ тыс. км²) к стоку малых водосборов ($F<3$ тыс. км²)

Область, край	Геоморфологический район	Площадь водосбора, км ²							
		3000 и бо- лее	1000	500	100	50	10	5	1
Новосибирская область	Северная Кулунда	—	1	1,2	1,6	1,9	2,7	3,1	4,7
Алтайский край	Центральная Кулунда	—	1	1,3	1,8	2,2	3,1	3,5	6,2
	Приобское плато	—	1	1,2	1,6	1,8	2,5	3,0	4,5
Павлодарская область	Павлодарское плато	1	1,2	1,5	2,5	3,0	5,0	6,2	8,0
КазССР	Прииртышская пониженная равнина	—	1	1,25	1,8	2,1	3,2	4,0	6,5
Курганская область	Тоболо-Ишимская степь	1	1,1	1,1	1,2	1,6	1,8	3,8	8,2*
Башкирская АССР	Предуральская степь	1	1,1	1,2	1,7	2,0	2,9	3,4	5,5
Оренбургская область	Сыртовое Заволжье (степь)	1	1,3	1,6	2,4	2,9	4,3	5,8	7,4
Целиноградская и Тургайская области	Кокчетавская возвышенность	1	1,2	1,2	1,5	1,8	2,2	3,0	4,2
Кустанайская область	Предуральское плато	1	1,2	1,4	1,7	2,2	3,0	3,8	5,7

* По данным Г. М. Островского [145].

области (супесчаные почвы) и Алтайского края (суглинистые почвы) одинаковы, что явно не соответствует действительности.

Из приведенных в табл. 3.11 данных видно, что в одном и том же геоморфологическом районе слой стока различается в три—восемь раз в зависимости от площади водосбора и рельефа. Столь большая разница в стоке с больших и малых водосборов может быть объяснена особенностями рельефа: наличием внутриконтурных микро- и мезопонижений на крупных водосборах, изрезанностью рельефа, различием средних уклонов водосборов, а также состоянием почвенного покрова и продолжительностью времени добегаания на водосборах разной величины. От последнего фактора зависят потери стока на инфильтрацию и испарение.

Анализ среднегодового стока с учетом влияния распаханности водосборов в районах освоения целинных и залежных земель позволил дать оценку влияния этого фактора на уменьшение стока в зависимости от площади водосбора (табл. 3.12). Эти данные были обобщены Н. Н. Островной [144].

Таблица 3.12

Возможное уменьшение среднего годового стока при распаханности 100% площади водосбора (по Н. Н. Островной)

Область	Средний годово́й слой стока, мм	Уменьшение годового стока (%) при площади водосбора, км ²			
		3000	500	10 и менее	непосредственно на полях
Целиноградская	15	10	10	15	15—20
	8—14	10	15	20	25—40
	8	10	20	25	35—50
Кустанайская	15	10	10	15	15—30
	8—14	10	15	20	25—40
	8	10	20	25	35—50
Северо-Казахстанская, Кокчетавская	15	10	10	15	15—20
	8—14	10	15	20	25—40
	8	10	20	25	35—50
Павлодарская	—	10	20	30—35	40—50
Алтайский край	—	10	10	10—15	25—35

Как известно, местный сток — это сток, формирующийся в данной зоне. По месту аккумуляции можно различать сток, остающийся в регионе его возникновения и уходящий за его пределы по гидрографической сети. К первому виду Н. Н. Островная [144] относит как сток, остающийся на водосборе, так и сток,

поступающий в крупные и мелкие микро- и мезопонижения. Б. Б. Шумаков [207] выделил несколько разновидностей местного стока, обладающих своими характерными особенностями: склоновый сток, сток потяжин и лощин, сток овражно-балочной сети, сток замкнутых понижений и сток степных рек. Исходя из соображения о том, что не весь местный сток может быть использован для организации лиманного орошения на склонах и замкнутых водосборах (по рельефным и почвенным условиям), автором на основании материалов табл. 3.9 и расчетов введен понижающий коэффициент 0,85 [133].

При определении объема стока с небольших и средних водосборов (рек с площадью водосбора от 1000 до 3000 км²) в степной зоне следует считать, что сток обеспеченностью 75% будет использован для регулярного орошения, разведения рыбы (пополнения низовых озер) и для рекреационных целей, а разность объемов стока 75%-й и 50%-й или 25%-й обеспеченности может быть использована для лиманного орошения кормовых культур. В этом случае объем весеннего стока, используемый для лиманного орошения, может быть определен по следующей зависимости:

$$V_1 = [0,85\bar{V}_2 - V_{2(75)}] K, \quad (3.23)$$

где V_1 — объем стока с малых водосборов и со склонов (площадью менее 3 тыс. км²); $\bar{V}_2$ — объем среднегогодового стока со сравнительно крупных водосборов (более 3 тыс. км²); $V_{2(75\%)}$ — объем стока 75%-й обеспеченности с крупных водосборов (в данном случае на основе материалов фактических наблюдений автора принято, что сток 75%-й обеспеченности составляет $\frac{1}{3}$ стока 50%-й обеспеченности); K — переходный коэффициент от слоя стока постоянных водотоков (рек) к слою стока малых (временных) водотоков (см. табл. 3.11).

При определении объема стока с малых водосборов замкнутых понижений (площадью менее 1000 км²) надо считать, что практически весь объем весеннего стока может быть использован для лиманного орошения и его значение определится по формуле

$$V_1 = 0,85\bar{V}_2 K. \quad (3.24)$$

По данным Ленгипроводхоза [202], площадь возможного применения лиманного орошения в степной зоне Срединного региона (при расчете на сток 50%-й обеспеченности) ориентировочно составляет около 1,5 млн. га, а по данным Н. Н. Островной [144] — около 2,5 млн. га.

3.11. Принципы мелиоративного районирования для лиманного орошения

Вопрос о типизации территории в связи с разработкой проектов для регулярного орошения впервые был поставлен Г. К. Ризенкампом еще в 1925 г. Изучая методику выбора схемы ороси-

тельной системы, Г. К. Ризенкампф пришел к выводу, что «основой классификации должны служить условия рельефа...». Он поделил при этом четыре типа рельефа: предгорный, долинный, дельтовый и смешанный. Несколько позднее С. П. Тромбачев и П. Л. Глебов расширили классификацию, предложенную Г. К. Ризенкампом. В дальнейшем А. Н. Костяков [98] также разделял оросительные системы регулярного орошения по характеру рельефа и геоморфологии.

Основные факторы, характеризующие работу крупных оросительных систем в различных природных условиях, были рассмотрены Л. В. Дунин-Барковским [66]. Он пришел к выводу о том, что физико-географический принцип районирования может быть положен в основу проектирования, строительства и эксплуатации оросительных систем, и предложил классификацию, связанную с природными условиями. Однако Л. В. Дунин-Барковский недооценивал значения лиманного орошения для условий малонаселенного степного края (Казахстан, Западная Сибирь).

Мелиоративное районирование в целях лиманного орошения весьма необходимо проектным организациям и плановым органам, так как позволяет упростить выбор схем лиманного орошения и определить перспективы его развития в том или ином экономическом районе.

Однако мелиоративное районирование в целях лиманного орошения для всей территории СССР еще никем не проводилось. Б. Б. Шумаков [207] впервые предложил оригинальную методику такого районирования и осуществил его для Юго-Востока европейской части СССР (Ростовская область, Калмыцкая АССР и Заволжье). К числу пяти факторов, учитываемых при мелиоративном районировании, Б. Б. Шумаков относит климатические (естественное увлажнение), гидрологические (сток снеговых вод), рельеф территории, почвенные условия и характер сельскохозяйственного использования лиманов.

В степной и лесостепной зонах Обь-Иртышского междуречья территории, перспективные для лиманного орошения, были указаны нами еще в 1958 г. Тогда же были разработаны фрагменты мелиоративного районирования [123]. Была сделана попытка рекомендовать те или иные типы лиманов в зависимости от разновидностей рельефа и его пригодности для лиманного орошения в Родинском районе Алтайского края (Приобское плато) [131]. Отмечено, что безуклонное плато ($i < 0,00001$) и крутые изрезанные склоны ($i > 0,01$) не пригодны для устройства на них участков лиманного орошения. Вслед за Б. Б. Шумаковым [207] мы также считаем необходимым при районировании придерживаться двух основных схем строительства — мелководных (склоновых) и глубоководных лиманов [133]. В поймах крупных рек и водотоков могут быть рекомендованы пойменные лиманы.

Основываясь на принципах мелиоративного районирования, разработанных Б. Б. Шумаковым [207], и на материалах В. А. Николаева [140] по геоморфологическому районированию,

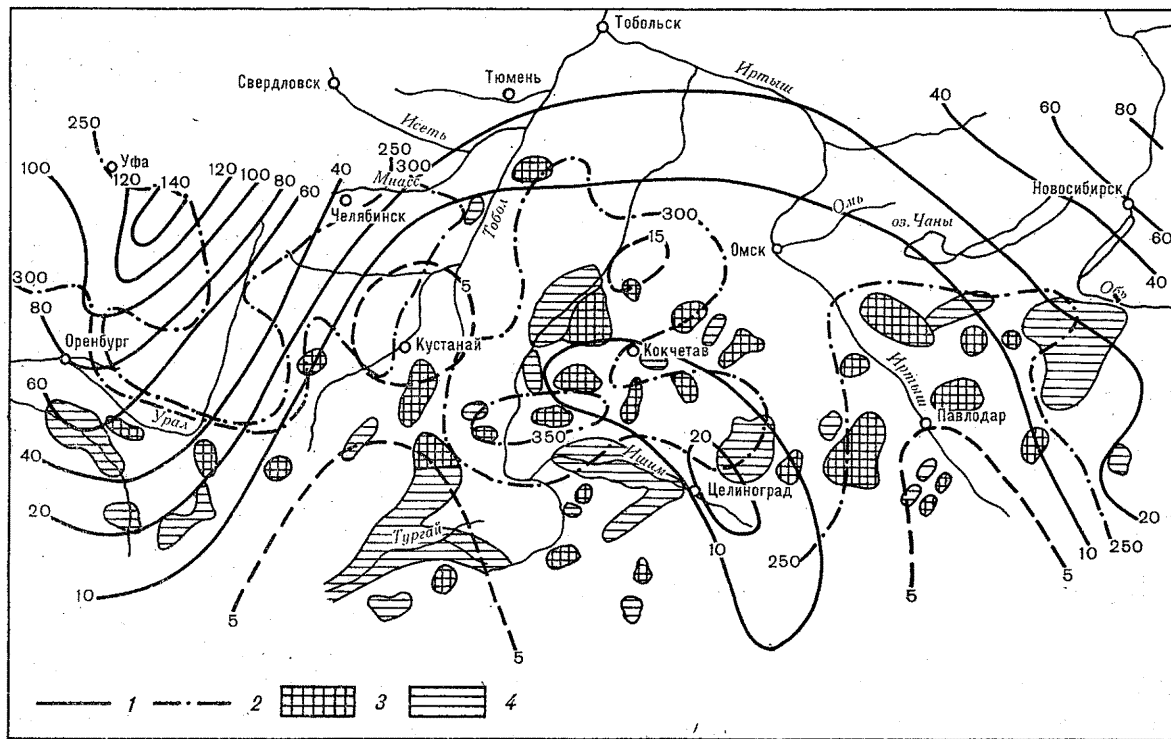


Рис. 3.10. Схематическая карта мелиоративного районирования для лиманного орошения в степной и лесостепной зонах Среднего региона СССР (составлена Н. А. Мосенко и Н. Н. Логиновой).

1 — изолинии среднего слоя весеннего стока (мм), 2 — изолинии нормы лиманного орошения для лугов и пастбищ; 3 — площади, где целесообразно устройство мелководных лиманов; 4 — площади, где целесообразно устройство глубоководных лиманов.

а также на результатах последних гидрологических исследований ГГИ (Северный Казахстан) и автора* (Западная Сибирь и Южный Урал), мы сделали попытку провести мелиоративное районирование лиманного орошения в степной и лесостепной зонах Среднего региона СССР (рис. 3.10).

В заключение настоящего раздела приводим схематическую карту границ снежных мелиораций и границ лиманного орошения в степной зоне СССР. Настоящая схема (рис. 3.11) составлена Б. А. Шумаковым [205] и уточнена автором [135].

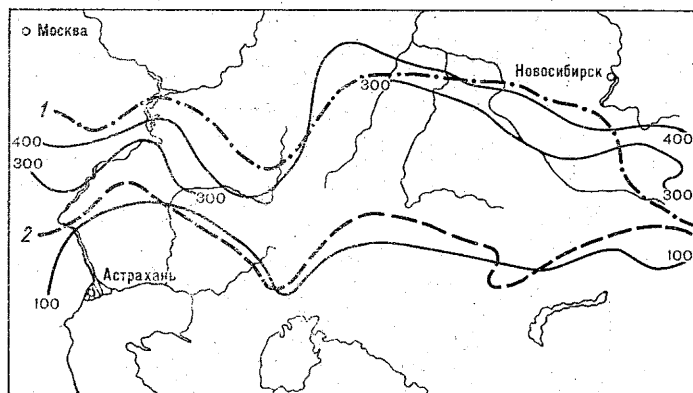


Рис. 3.11. Схематическая карта северной (1) и южной (2) границ снежных мелиораций и лиманного орошения в степной зоне СССР.

Изолинии — общие запасы влаги в метровом слое почвы (мм).

Выводы

1. Основными факторами формирования весеннего стока в степной зоне Среднего региона являются снегозапасы, сложенные с весенними осадками, и осеннее увлажнение полуметрового слоя почвы. Регрессионные значения склонового стока в зависимости от основных факторов его формирования могут быть определены по уравнениям криволинейной регрессии, полученным методом нормализации переменных.

2. Основная активная масса снежного покрова (63—66%) аккумулируется в нижней и средней частях склонов. Эта часть водосборов может быть наиболее эффективно использована для создания лиманов.

3. Поверхностный сток с малых водосборов формируется за счет склонового стока (62—75% суммарного). Значительно меньше (20—35% суммарного) приходится на долю руслового

* При расчете оросительных норм лиманного орошения для лугов и пастбищ были использованы рис. 2.1, 2.2 и материалы автора по значениям среднего слоя весеннего стока (мм) в степной зоне Среднего региона СССР.

стока. Сток приводораздельных частей склонов не играет заметной роли в общем балансе поверхностного стока, причем в маловодные годы он может практически отсутствовать.

4. Склоновый сток определяется запасами воды в снежном покрове средней и нижней частей склонов, а также потерями на испарение и поглощение воды почвой. Испарение со снежного покрова в весенний период незначительно и составляет около 3—5 мм. Потери весеннего стока за счет поглощения воды мерзлой суглинистой почвой при оттаивании верхнего горизонта или при низкой ее влажности могут быть определены по региональным формулам.

5. Просачивание снеговых вод в мелководных лиманах происходит в основном в мерзлую почву, водопроницаемость которой меньше в 6—8 раз и более, чем талой. Почвы, увлажненные до НВ, в мерзлом состоянии водонепроницаемы. Водопроницаемость мерзлых среднесуглинистых почв (южные черноземы) восстанавливается при влажности ниже 50% НВ. Основными факторами, влияющими на водопроницаемость мерзлой почвы, являются ее льдистость и глубина промерзания.

6. При определении оросительной нормы лиманного орошения необходимо учитывать агрогидрологические и мелиоративные свойства почвогрунтов не только талого, но и промерзшего слоя.

7. Принимая во внимание изменчивость весеннего стока по годам, сравнительно небольшие пойменные и глубоководные лиманы (до 500 га) следует проектировать на сток 50%-й обеспеченности, а мелководные склоновые лиманы — рассчитывать на сток 25%-й обеспеченности. При проектировании же крупных орошаемых участков следует иметь в виду, что оптимальная обеспеченность весеннего стока, используемая для лиманного орошения, зависит от конкретных гидролого-климатических условий региона и технико-экономических показателей проектируемого объекта.

Глава 4. АГРОГИДРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ОРОШАЕМОГО ЗЕМЛЕДЕЛИЯ

Срединный регион, включающий степную зону Западной Сибири, Урала и Северного Казахстана, — крупнейший район богарного земледелия страны, где возделываются ценные сорта яровой пшеницы. Однако неблагоприятные естественные гидролого-мелиоративные и агроклиматические условия (недостаток влаги) сдерживают развитие сельскохозяйственного производства в этом обширном степном крае. В связи с проблемами регулярного орошения степной зоны Срединного региона научной разработки в первую очередь требуют следующие основные вопросы гидрологии орошаемого земледелия:

- 1) исследование ресурсов местного стока (поверхностного и подземного) и путей их использования для орошения;
- 2) вывод водного и водно-солевого баланса орошаемых земель;
- 3) определение основных критериев регулирования стока для переменных оросительных норм;
- 4) расчет стока с орошаемых земель и вопросы охраны природы на малых степных водосборах;
- 5) проведение комплексного гидромелиоративного районирования.

Все мероприятия по регулированию водного режима орошаемых сельскохозяйственных угодий должны осуществляться с учетом гидрометеорологических условий и влагообмена в зоне аэрации.

Применение недостаточно обоснованного режима орошения без учета динамики водного баланса зоны аэрации и гидрометеорологических факторов на почвогрунтах со слабой дренированностью может привести к подъему уровня грунтовых вод и к образованию верховодки, а в некоторых случаях и к вторичному засолению или заболачиванию орошаемых массивов. За основу метода определения суммарного водопотребления и режима орошения должно быть принято совместное решение уравнений водного и теплового балансов зоны аэрации с учетом особенностей растений в онтогенезе [189].

4.1. Ресурсы поверхностных и подземных вод и пути их использования для орошения

Водные ресурсы степной зоны юга Западной Сибири и Зауралья представлены в табл. 4.1 (по К. П. Воскресенскому и др., 1969 г.). Здесь в весенний период проходит до 90—95%, а в летне-осенний период 4—8% годового стока. Объем местного стока рек и подземных вод активного водообмена в средний по водности год на Южном Урале составляет около 18%, а сумма водных ресурсов 95%-й обеспеченности по административным районам Курганской, Челябинской и Оренбургской областей соответственно равна 0,319, 2,737 и 2,449 км³ в год.

Суммарные водные ресурсы всех рек Северного Казахстана, по данным К. П. Воскресенского, составляют около 32,6 км³, общий объем стока основных рек 31,6 км³, из них 88% дает р. Иртыш. С территории пяти областей Северного Казахстана в средний по водности год поступает только 4,6 км³ (Целиноградская — 1,7 км³, Кустанайская — 1,65 км³, Кокчетавская — 0,65 км³, Павлодарская — 0,30 км³ и Северо-Казахстанская область — 0,30 км³). Следовательно, в пределах Северного Казахстана формируется лишь одна седьмая часть суммарного стока его рек.

Многолетние исследования автора [131, 133] показывают, что по колебаниям годового стока рек юга Западной Сибири и Южно-

го Урала отмечается чередование циклов маловодных и многоводных лет, различающихся по продолжительности и отклонению водоносности рек от средней. Продолжительность маловодных циклов составляет от 2 до 8 лет, реже 10—15. Многоводные циклы менее длительны и обычно продолжаются от 2 до 5 лет, но иногда до 15—20. Например, в Кулундинской степи (реки Бурла, Касмала, Кулунда и др.) в маловодный пятилетний период (1951—1955 гг.) водоносность рек составляла 64—67% среднего ее значения, а в четырехлетний (1947—1950 гг.) и двухлетний (1957—1958 гг.) многоводные циклы она на 35—37% превышала среднюю водоносность.

Таблица 4.1

Ресурсы местного стока засушливой степной зоны юга Западной Сибири и Зауралья

Область (край)	Площадь засушливой зоны		Объем стока, км³	Слой стока, мм	Осадки, мм	Испарение, мм	Коэффициент стока
	км²	% общей территории					
Алтайский край (равнинная часть)	100161	38	3,54	35	490	450	0,07
Курганская	31422	44	0,20	6	425	420	0,01
Новосибирская	81783	46	2,17	26	475	450	0,05
Омская	51825	37	0,20	4	430	425	0,01
Тюменская	1993	0,1	0,013	7	425	420	0,02
Челябинская	53612	61	1,96	37	515	475	0,07
Всего	320796	37,7	8,20	19,2	460	440	0,04

Распределение стока рек в степной зоне юга Западной Сибири, Южного Урала и Северного Казахстана в течение года неравномерно. На Приобском плато (Кулундинская степь), например, в весенний период (апрель—июнь) сбрасывается до 90—95% годового стока, а в летне-осенний сезон 5—10%. Минимальные расходы воды наблюдаются во время летней и зимней межени. Как правильно отметил А. М. Комлев [92], наиболее низкие минимумы стока отмечаются здесь зимой. Коэффициенты вариации весеннего стока для малых рек юга Западной Сибири колеблются от 0,30 до 0,90 [125, 131, 146].

Исследования поверхностного стока в Северном Казахстане и на юге Западной Сибири, проведенные сотрудниками ГГИ в 1954—1957 гг. и автором в 1954—1965 гг., показали, что в отличие от других районов страны, где средний сток с единицы площади (модуль стока) мало зависит от размеров бассейна, в засушливых равнинных условиях сток возрастает с уменьшением площади водосбора. Здесь с уменьшением площади водосбора

возрастает относительная густота гидрографической сети, главным образом за счет временных водотоков, что способствует накоплению снега в руслах. По нашим данным [135], запасы воды в русловой сети в среднем в три раза больше, чем в открытой степи. Потери на испарение с малых водоемов, наоборот, снижаются благодаря относительному уменьшению количества бессточных понижений — озер, западин, аккумулярующих весенний сток.

На основании обобщения литературных данных по Северному Казахстану и многолетних исследований автора по Западной Сибири и Уралу была составлена карта среднего слоя местного весеннего стока в степной зоне Срединного региона (рис. 4.1).

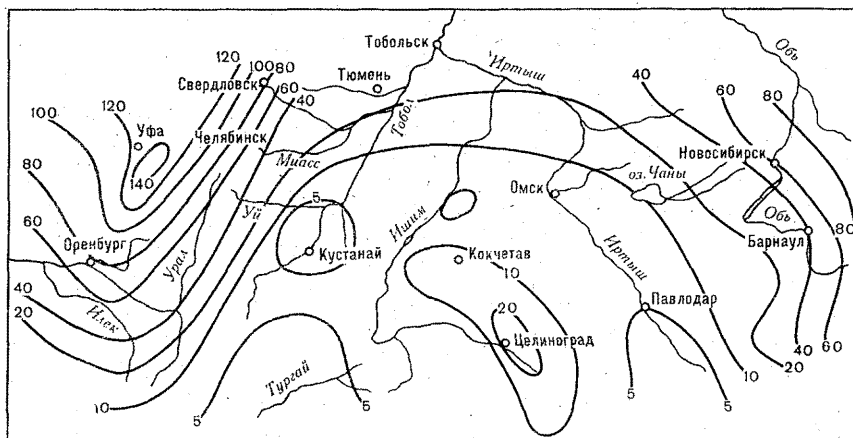


Рис. 4.1. Схематическая карта среднего слоя весеннего стока (мм) в степной зоне Срединного региона СССР.

Основой ее послужили материалы наблюдений за 1963—1975 гг. по 120 речным бассейнам, имеющим площади водосборов от 10 до 10 000 км² (в основном от 100 до 3000 км²). Приведение коротких рядов наблюдений за стоком к 40-летнему периоду проводилось по границам связи с годовыми расходами рек-аналогов и по фактическим материалам наблюдений автора на малых водосборах за 1954—1975 гг.

Потенциальные ресурсы вод местного стока Северного Казахстана могут быть определены условно по рекомендациям, предложенным в ГГИ. Если при использовании ресурсов вод местного стока ориентироваться на водосборные площади 50 км² (рис. 4.2), то суммарный объем вод местного стока для всей территории Северного Казахстана в средний по водности год составит 9,7 км³, из них около 70% приходится на Целиноградскую (3,13 км³) и Кустанайскую области (3,83 км³). Таким образом, ресурсы вод местного стока в два раза превышают речной сток, формирующийся в пределах рассматриваемой территории, т. е. в русла рек поступает около 50% объема стока временных водотоков.

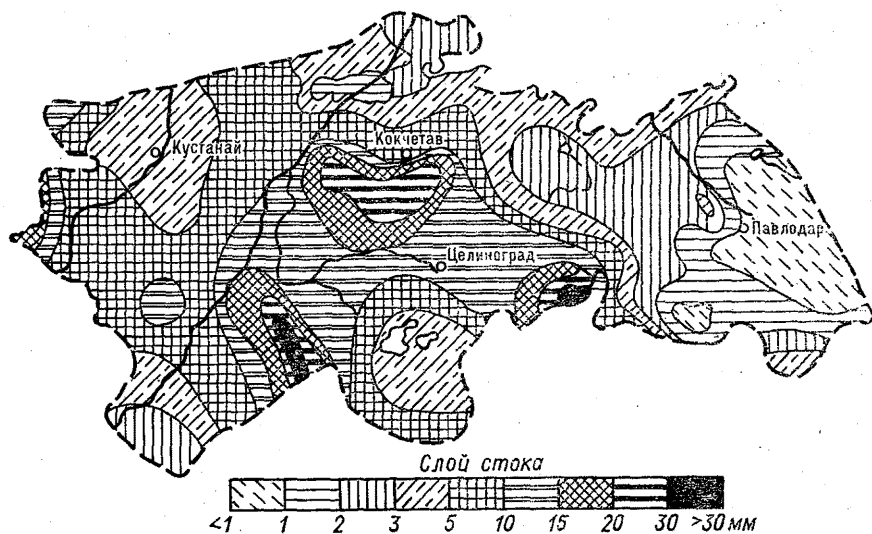


Рис. 4.2. Ресурсы местного стока Северного Казахстана (по К. П. Воскресенскому и М. С. Протасьеву).

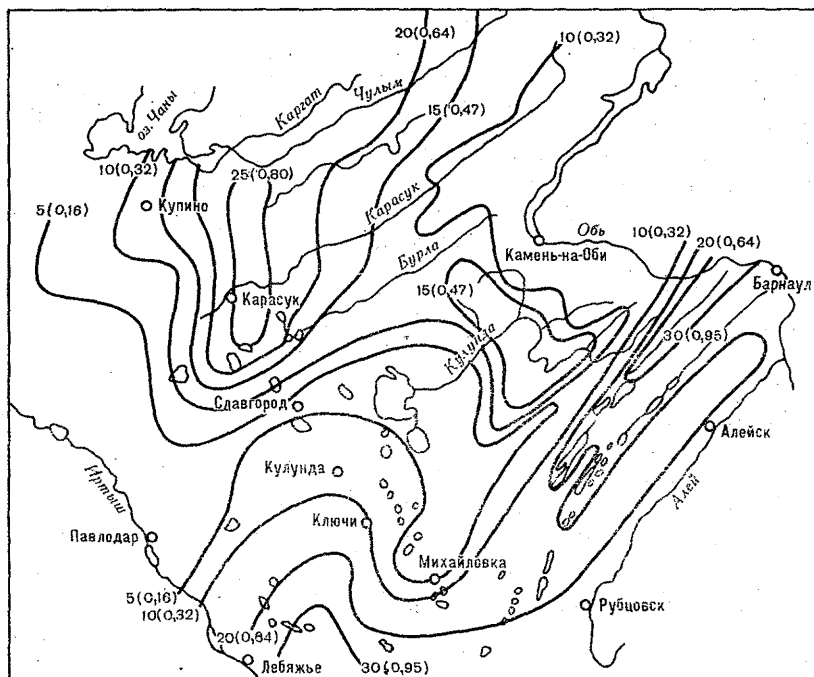


Рис. 4.3. Естественные ресурсы грунтовых вод (мм/год, в скобках — л/с·км²) Обь-Иртышского междуречья (по Е. М. Никифорову).

Для орошения Кулундинской степи можно использовать воды Оби, местный сток снеговых вод (лиманное орошение) и подземные воды четвертичных отложений. Мы остановимся здесь на ресурсах подземных вод Центральной Кулунды и их использовании для орошения (рис. 4.3).

При ориентировочных расчетах естественных ресурсов подземных вод в степной зоне П. Я. Полубаринова-Кочина [154] исходит из того, что обширная площадь, подлежащая орошению подземными водами, считается бессточной, а скважины размещаются более или менее равномерно. Каждая скважина в этом случае имеет свою зону влияния и отсасывает воду из окружающего ее пространства цилиндрической формы. Если зона действия скважины сравнительно велика, неправильный в плане контур, ограничивающий соответствующую площадь σ , можно заменить окружностью и, таким образом, рассматривать опять-таки цилиндр. Пусть радиус этого цилиндра будет R , тогда его площадь $\sigma = \pi R^2$. При этом рассматривается такой случай, когда вода откачивается из верхнего безнапорного водоносного горизонта. Если дебит скважины обозначить через Q_0 , то удельный дебит будет равен

$$q_1 = \frac{Q_0}{\sigma} = \frac{Q_0}{\pi R^2}, \quad (4.1)$$

где q_1 — интенсивность орошения подземными водами, мм слоя воды, либо $\text{м}^3/\text{га}$.

Согласно исследованиям автора [131] и С. И. Харченко [189], почти две трети (65—70%) оросительной воды расходуется на суммарное испарение (эвапотранспирацию), а одна треть идет на пополнение грунтового потока. В общем случае будем считать, что суммарное испарение составляет αq_1 , где $0 < \alpha < 1$. Тогда снижение уровня грунтовых вод в зоне аэрации составит αq_1 , а за промежуток времени Δt оно будет равно

$$\Delta h_1 = \frac{\alpha q_1}{m_{\Pi}} \Delta t, \quad (4.2)$$

где m_{Π} — эффективная пористость грунта, или недостаток насыщения.

Если учесть потери на инфильтрацию ε в водоносный горизонт, то снижение составит $(\alpha q_1 - \varepsilon)$. Отсюда

$$\Delta h_1 = \frac{\alpha q_1 - \varepsilon}{m} \Delta t. \quad (4.3)$$

Следовательно, при $\alpha q_1 - \varepsilon = 0$, т. е. при

$$q_1 = \frac{\varepsilon}{\alpha}, \quad (4.4)$$

никакого снижения горизонта воды в грунтовом потоке не будет.

Так, например, если $\alpha = 2/3$, то $q_1 = 3/2\varepsilon$. Из этого следует, что если воду для полива откачивать из скважины с интенсивностью, равной полуторной интенсивности инфильтрации, то уровень грунтовых вод будет практически неизменным.

В перспективе орошение в степной зоне будет организовано таким образом, что потери на инфильтрацию будут отсутствовать (закрытая или лотковая сеть каналов). В этом случае откачиваемая вода скважин полностью пойдет на суммарное испарение (эвапотранспирацию), т. е. $\alpha = 1$ и $q = \varepsilon$ — откачивать можно только то, что дает инфильтрация.

Возьмем теперь самый неблагоприятный случай, т. е. интенсивность откачки $q_1 > \varepsilon/\alpha$. При этом, естественно, уровень грунтовых вод при использовании их для орошения будет снижаться. Чтобы определить снижение уровня грунтовых вод в данном случае, воспользуемся примером из работы П. Я. Полубариновой-Кочиной [154]. Если дебит скважины составляет $100 \text{ м}^3/\text{ч}$ и орошаемая площадь равна $100 \text{ га} = 10^6 \text{ м}^2$, то при круглосуточной работе скважины $q_1 = 2,4 \text{ мм/сут.}$ Считая, что $\alpha = 2/3$, $m = 0,2$ и пренебрегая ε , получим

$$\Delta h_1/\Delta t = 8 \text{ мм/сут.} \quad (4.5)$$

На юге Западной Сибири продолжительность поливного периода в среднем составляет около 100 дней (май — середина августа), т. е. снижение уровня грунтовых вод будет равно $800 \text{ мм} = 0,8 \text{ м.}$

Если же принять $m = 0,15$ или $0,1$, то снижение уровня соответственно составит 1,1 и 1,6 м за год. Такие снижения уровней грунтовых вод при интенсивном использовании их для орошения ($q_1 > \varepsilon/\alpha$) имеют место в США (Калифорния), в Индии (штат Уттар-Прадеш) и в других странах [100].

Центральные районы степной зоны Обь-Иртышского междуречья относятся к бессточным областям, для которых оценка динамических запасов подземных вод представляет большие трудности. Однако можно, следуя методике, предложенной в Ленгипроводхозе, ориентировочно рассчитать естественные пополнения запасов грунтовых вод этой территории, учитывая испарение с их поверхности. При этом считаем, что испарение с поверхности грунтовых вод ориентировочно равно ежегодно пополняемой части запасов грунтовых вод (динамические запасы).

Глубина зеркала грунтовых вод, при которой начинается заметный расход их на испарение, носит название «критической». При критической глубине обычно начинается вторичное засоление почвы, которое происходит в результате испарения с поверхности минерализованных грунтовых вод. Для легкосуглинистой, суглинистой и супесчаной почв Центрально-Кулундинской аллювиальной равнины и Павлодарской плоско-волнистой равнины критическая глубина, по исследованиям автора [128], составляет 2,5—3 м.

По данным С. И. Харченко [189], для различных почвогрунтов критические глубины изменяются от 1,5 до 4 м. Так, например,

по его данным, для пылеватых суглинков Арысь-Туркестанского массива (Казахстан), где поля заняты хлопчатником, критическая глубина составила 4 м, а для аналогичных суглинков Таласской оросительной системы, где поля заняты свеклой, 2,5—3,0 м. С. И. Харченко также установил, что подпитывание зоны аэрации грунтовыми водами определяется ходом метеорологических элементов и фазами развития растений.

И. Б. Вольфцун [40] предлагает определять критическую глубину графическим способом по связи изменений уровня грунтовых вод (вызванных испарением) и испаряемости.

Приближенно испарение с поверхности грунтовых вод можно определить по формуле С. Ф. Аверьянова [2]

$$q_1 = q_0 \left(1 - \frac{\Delta}{\Delta_0}\right)^n, \quad (4.6)$$

где q_1 — интенсивность испарения грунтовых вод при глубине их стояния Δ м; q_0 — интенсивность испарения с поверхности почвы; Δ_0 — критическая глубина стояния грунтовых вод, м; n — показатель, зависящий от местных условий, причем $1 \leq n \leq 3$.

Для расчета испарения в пределах Центральной Кулунды показатель степени n определен по методу, изложенному И. Б. Вольфцуном [40], и $n=2$.

Испарение происходит не по всей площади распространения водоносного горизонта, а с испаряющих участков. Следовательно, расчетная формула динамических запасов грунтовых вод, принятых численно равными испарению с их поверхности, имеет следующий вид:

$$q_1 = \frac{1}{F} \sum f_i q_{0i} \left(1 - \frac{\Delta_i}{\Delta_{0i}}\right)^{n_i}, \quad (4.7)$$

где f_i — площадь испаряющего участка; Δ_{0i} — его критическая глубина; Δ_i — фактическая глубина; n_i — показатель степени; F — площадь всей территории.

За неимением дифференцированных данных по различным участкам принимаем $n_i=2$. Все Δ_{0i} полагаем ориентировочно равными 3 м — это критическая глубина для средних суглинков. Все значения Δ_i принимаем равными 2 м, что чаще всего встречается в отмеченных областях. Тогда формула (4.7) примет вид:

$$q_1 = \frac{1}{F} \left(1 - \frac{\Delta}{\Delta_0}\right)^2 \sum f_i q_{0i} = \frac{1}{9F} \sum f_i q_{0i}. \quad (4.8)$$

Грунтовые воды на территории Центральной Кулунды приурочены к водоносному комплексу Кулундинской свиты, который распространяется за пределы Центральной Кулунды на юг и запад. Нами рассчитано испарение этого водоносного комплекса только в пределах центральной части Кулундинской степи, куда вошли Славгородский, Знаменский, Суетский, Благовещенский, Родинский, Волчихинский и Михайловский районы Алтайского края,

а также восточная часть правобережья Иртыша в Павлодарской области Казахской ССР. Общая площадь выделенной территории составляет около 24 тыс. км², 30% которой занимают испаряющие участки. По данным Степной экспедиции Западно-Сибирского геологического управления, средняя глубина залегания грунтовых вод составляет для этой территории около 2 м; испарение с водной поверхности, согласно данным ГГИ, принято равным 700—750 мм.

Проведенные нами расчеты показали, что испарение равно в среднем 24,3 мм. Можно принять, что динамические запасы грунтовых вод нижнечетвертичного водоносного горизонта в Центральной Кулунде составляют 24 мм водного столба, или 576 млн. м³ на площади 24 тыс. км² [101].

При средней оросительной норме 2000 м³/га получаем, что запасы грунтовых вод 576 млн. м³ дают возможность оросить 288 тыс. га в год, а при оросительной норме 3000 м³/га — 192 тыс. га. Приблизительно можно считать, что 150 тыс. га — это возможная площадь орошения подземными водами центральной части Кулундинской степи. Это составляет около 6% рассматриваемой площади. Если же учесть, что в Центральной Кулунде питьевое и промышленное водоснабжение базируется исключительно на подземных водах нижнечетвертичных отложений, то эту площадь, вероятно, следует снизить до 80—100 тыс. га. При этом орошение должно быть рассредоточенным, чтобы не вызвать сильного снижения уровня грунтовых вод.

Расширение площадей, орошаемых подземными водами, возможно при условии искусственного пополнения их поверхностными водами (магасинирование вод в подземных пластах, по Н. Н. Фаворину).

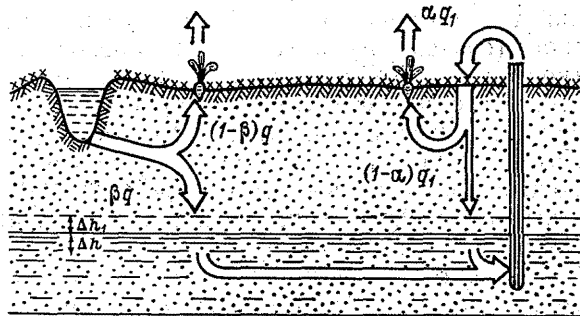


Рис. 4.4. Схема комбинированного использования поверхностных и грунтовых вод для орошения (по П. Я. Полубариновой-Кочиной).

К настоящему времени выявилась необходимость применять на больших территориях комбинированные способы, используя для орошения как поверхностные, так и подземные воды. Для условий бессточного бассейна нетрудно подсчитать соотношение между объемами речных и подземных вод для сохранения стабильного уровня зеркала грунтовых вод. Индийский инженер Хари Лал Салли [215] подсчитал, что для условий Пенджаба на каждые

100 м³ воды, подаваемой в голову канала, нужно давать 65 м³ из трубчатых колодцев. П. Я. Полубаринова-Кочина [154] считает, что из каждых q м столба воды (рис. 4.4), подаваемой в голову ирригационного сооружения, βq ($0 < \beta < 1$) идет на потери из каналов и потери на полях при орошении. Это будет вызывать подъем уровня грунтовых вод на Δh . Через промежуток времени Δt будем иметь

$$\Delta h = \frac{\beta q}{m} \Delta t, \quad (4.9)$$

где m — недостаток насыщения, значение которого для простоты примем равным коэффициенту водоотдачи при откачке из пласта. Тогда для соблюдения условия $\Delta h_1 = \Delta h$ следует приравнять

$$\alpha q_1 = \beta q, \quad (4.10)$$

отсюда

$$q_1 = \frac{\beta}{\alpha} q. \quad (4.11)$$

Ориентировочно будем считать, что потери на фильтрацию из каналов и потери на полях при поверхностных поливах составляют около 50% оросительной воды, т. е. будем считать $\beta = 0,5$. Сделаем также допущение, что потери при использовании подземных вод для орошения вдвое меньше, т. е. $1 - \alpha = 0,25$. Тогда $\alpha = 0,75$. По формуле (4.11) получаем

$$q_1 = 2/3 q = 0,667 q. \quad (4.12)$$

следовательно, на каждые 100 м³ речной воды нужно подавать 67 м³ подземной.

Следует отметить, что по материалам фактических наблюдений на опытных откачках при бурении куста скважин на Алейской (совхоз «Рубцовский» Алтайского края) и Городищенской (колхоз им. XXII партсъезда Оренбургской области) оросительных системах эффективная пористость грунта (недостаток насыщения) оказалась равной 0,2, а коэффициент водоотдачи 0,18. Потери на полях при орошении поверхностными водами с помощью дождевальных агрегатов ДДА-100МА, по данным опытов, составляют 0,48—0,52, а при использовании подземных вод — в два раза меньше (0,25).

Формула (4.12) показывает, что чем меньше потери, т. е. чем меньше β и $1 - \alpha$, тем меньше q_1 по сравнению с q . Другими словами, чем меньше потери из каналов, тем меньше объем откачек для поддержания уровня грунтовых вод в стабильном состоянии. Потери из каналов в настоящее время могут быть сильно снижены благодаря применению полиэтиленовых пленок, а также пластмассовых труб и лотков, заменяющих каналы. Потери при поливах также будут значительно снижаться при более широком применении дождевания из закрытой сети, внутрипочвенного и мелкодисперсного (аэрозольного) орошения.

По данным В. А. Николаева [140], усиленное возобновление запасов подземных вод в степной зоне юга Западной Сибири идет за счет обильного притока аллювиальных вод из погребенных долин. Это позволяет провести весьма необходимую переоценку запасов подземных вод, исследуя историю формирования прарек, современных речных долин древних ложбин стока.

Большой практический опыт использования артезианских подземных вод накоплен в колхозе «30 лет Казахской ССР» Успенского района Павлодарской области, где орошается артезианской водой свыше 3000 га сельскохозяйственных угодий. Подземные воды для орошения используются в колхозе как непосредственно из скважин, так и из искусственных водоемов, в которых аккумулируется вода, поступающая из ряда скважин. Все скважины поставлены на крановый режим, многие из них закольцованы в единую систему для получения дебита воды, необходимого для быстрого пополнения водоемов. Для поливов используются широкозахватные установки «Фрегат» и «Волжанка». Орошение культурных пастбищ в этом хозяйстве обеспечило сбор трех уроков трав при урожае зеленой массы 36—40 т/га. Кроме того, имеется возможность выпастать в течение месяца на этих землях, по существу представляющих искусственные луга, 1200 дойных коров. Свыше 10 лет орошается также массив площадью 896 га, на котором артезианские воды, аккумулируемые в водоемах, по системе труб через гидранты подаются к дождевальным машинам ДДА-100МА.

4.2. Водный баланс автоморфных почв при орошении

Для установления поливных и оросительных норм при разных способах полива, потерь в оросительной сети и непосредственно на орошаемом поле (потери на полях) необходимо изучение приходно-расходных элементов водного баланса. Опыты по изучению режима и баланса влаги на каштановых почвах при поливе яровой пшеницы напуском по полосам были проведены в 1953—1957 гг. В. П. Панфиловым [148] в колхозе «Маяк» Ключевского района Алтайского края. Основной статьей прихода водного баланса орошаемых каштановых почв во все годы исследования (от 52% в сравнительно благоприятные по увлажнению годы до 75% — в засушливые годы) являются поливные воды (табл. 4.2). Доля участия атмосферных осадков и продуктивных запасов почвенной влаги в снабжении растений водой невелика (от 25% — в засушливые до 48% — в средние по увлажнению годы).

Непосредственное измерение расходных составляющих водного баланса в полутораметровом слое каштановой почвы показало, что в засушливые годы (например, 1955 г.) потери влаги почвой на физическое испарение сравнительно велики и составляют около 50% суммарного расхода, а в годы, когда осадков выпадает

значительно больше и влажность воздуха довольно высокая (например, 1956 и 1957 гг.), потери влаги на испарение резко уменьшаются (20%), зато увеличивается расход влаги на транспирацию (80%).

Таблица 4.2

Баланс влаги в каштановых почвах
(для слоя 0—150 см) при поливе [148]

Источники поступления и расхода влаги	1955 г.		1956 г.		1957 г.	
	Количество воды					
	м³/га	%	м³/га	%	м³/га	%
Осадки	863	15	1336	26	1513	33
Поливы	4300	75	2610	52	2440	62
Расход воды из весен- ных запасов почвы	543	10	1142	22	0	0
Общий приход	5706	100	5083	100	3953	100
Суммарный расход *	5715	100	4507	100	3950	100
испарение с по- верхности почвы	2370	42	924	20	—	—
транспирация	3345	58	3583	80	—	—

* Вычисленный по непосредственному измерению испарения и транспирации.

Составляющие водного баланса в полевых условиях исследовались автором в 1963—1965 гг. Опыты проводились на орошаемом поле Кулундинской опытной станции. Орошалась яровая пшеница сорта Саратовская 29. Почвы на опытном участке представлены каштановыми супесчаными разностями, маловлагоемки, и поливные нормы поэтому не превышали 350 м³/га.

Водный баланс орошаемого поля для метрового слоя почвы при поливе дождеванием может быть представлен в следующем виде:

$$W_n + M + X + W_v + K = T + E + E_1 + П + W_k + W_a + C, \quad (4.13)$$

где W_n — запасы продуктивной влаги в метровом слое почвы в начале вегетации; X — сумма осадков за вегетационный период; M — оросительная норма; W_v — подпитывание из нижележащих горизонтов (по капиллярам); K — конденсационная влага; T — испарение воды растениями (транспирация); E — испарение воды почвой; E_1 — испарение воды за время полета струи в воздухе; $П$ — просачивание (инфильтрация) воды в нижележащие горизон-

ты; W_k — запас продуктивной влаги в конце вегетации (остаточный запас); W_a — количество воды, задержавшейся на вегетативных органах растений; C — поверхностный сток.

Составляющие уравнения водного баланса орошаемого поля количественно и качественно весьма различны. Некоторые из них не поддаются точному учету вследствие неразработанности методики их определения, другие же не составляют заметной величины в общем балансе активного слоя почвы и не представляют практического интереса. Так, в связи с тем что на орошаемом поле развиты легкие супесчаные почвы и местность почти не имеет уклона, сток C отсутствовал. Запасы продуктивной влаги в активном слое почвы W_n весной в 1963 г. (14 мая) составляли 239 м³/га, в 1964 г. (21 мая) 728 м³/га, а в 1965 г. (19 мая) 532 м³/га. Сумма эффективных осадков X за вегетационный период в засушливом 1963 г. составила 460 м³/га, в среднем по увлажнению 1964 г. она равнялась 1206 м³/га, а в острозасушливом 1965 г. 140 м³/га.

Оросительная норма M для зоны недостаточного увлажнения зависит от метеорологических условий года, типа возделываемой культуры, гидрогеологических условий орошаемого поля, т. е. от принятого режима орошения, обеспечивающего максимум урожая при минимальных затратах воды.

Подпитывание из нижележащих горизонтов W_b определяется в основном уровнем залегания грунтовых вод, т. е. гидрогеологическими условиями участка. В опыте глубина залегания грунтовых вод составляла 200—230 см. Подпитывание из капиллярной каймы (вместе с конденсационной влагой) колебалось от 566 м³/га (1964 г.) до 1783 м³/га (1963 г.). Конденсационная влага K измерялась с помощью автоматических влагомеров-самописцев АФИ, установленных на глубине 0,5 и 1,0 м. После обработки ленты самописцев и тарировки их показаний удалось определить, что внутрипочвенная конденсация колебалась в полуметровом слое от 0,5 до 1,0 мм/сут.

Суммарное испарение $T + E$ проверялось методом водного баланса в активном слое почвы и методом теплового баланса с помощью электронного автоматического устройства — теплобалансографа АФИ. Из материалов исследований [133] видно, что на неорошаемых каштановых почвах доступная влага обычно полностью используется растениями не только в засушливые годы (1963 и 1965), но и в средние по увлажнению (1964). На орошаемых почвах к концу вегетации за весь период исследований оставались неиспользованными запасы продуктивной влаги в метровом слое почвы.

Суммарное испарение на неорошаемом поле зависит от количества осадков вегетационного периода и запасов продуктивной влаги в активном слое почвы в начале вегетации. На орошаемом поле яровой пшеницы в засушливые 1963 и 1965 гг. подпитывание из нижележащих горизонтов (капиллярной каймы) и конденсация составляли 48—65%, а в средний по увлажнению 1964 г. подпиты-

вание равнялось около 13%. Это объясняется тем, что в 1964 г. растения почти полностью были обеспечены влагой из запасов допосевного периода, осадков и полива. На богаре подпитывание из более глубоких горизонтов составило около 15% суммарного водопотребления в средний по влажности год и 43—56% — в засушливые годы.

При расчете водного баланса почв при орошении дождеванием следует особо учитывать потери воды на испарение в воздухе, на испарение с поверхности листьев, в стыках труб и т. д. Испарение в воздухе и задержание воды поверхностью листьев при дождевании, в отличие от потерь на глубинную фильтрацию при поверхностных способах орошения, в значительной степени полезны, так как улучшают микроклимат и способствуют более активной физиологической деятельности растений, а следовательно, повышению урожайности [203, 204, 209].

Таким образом, в богарных условиях основной приходной статьей водного баланса являются осадки вегетационного периода, а также запасы продуктивной влаги, накопленные в активном слое почвы к началу сева сельскохозяйственных культур. На орошаемых каштановых почвах (при глубине залегания грунтовых вод более 3 м) основной приходной статьей водного баланса являются поливные воды. При глубине залегания грунтовых вод меньше 3 м существенной статьей прихода как на орошаемых, так и на богарных каштановых почвах является также испарение грунтовых вод и конденсационная влага.

4.3. О глубине увлажняемого слоя почвы при орошении

Вопрос о глубине увлажнения почвы при орошении является одним из основных при разработке режимов и способов орошения сельскохозяйственных культур. Глубина увлажнения — важный расчетный элемент при определении поливной нормы m . По А. Н. Костякову [98], поливная норма определяется из следующего выражения:

$$m = 100h_a\gamma(W_{\text{нв}} - W_0), \quad (4.14)$$

где h_a — глубина активного слоя почвы, м; γ — плотность почвы, г/см³; $W_{\text{нв}}$ и W_0 — массовая влажность почвы при НВ (верхний предел) и предполивная (нижний предел), %.

Как видно из формулы (4.14), глубину увлажнения почвы при орошении А. Н. Костяков и ряд других авторов [112, 127] отождествляют с активным слоем, который определяется глубиной расположения основной массы (до 90%) корней, зависящей от биологических особенностей сельскохозяйственных культур. Глубина активного слоя может в отдельных случаях и не совпадать с глубиной увлажняемого слоя, например, при осенних влагозарядковых поливах и при лиманном орошении [134, 207].

Некоторые авторы [8, 9, 10, 48, 183, 186] называют увлажняемый слой расчетным, корнеобитаемым, деятельным, слоем активного влагооборота и т. д. По нашему мнению, наиболее правильно называть его все же активным слоем, т. е. так, как в свое время его называли корифеи мелиоративной науки — академики А. Н. Костяков [98] и Б. А. Шумаков [203].

Как отмечает И. А. Кузник [103], глубина активного слоя почвы при поливе в мелиоративной гидрологии имеет двойное значение: во-первых, она служит одним из основных параметров для определения поливной нормы, что видно из выражения (4.14); во-вторых, она обычно учитывается в воднобалансовых расчетах при определении потерь поливной воды на инфильтрацию.

Для правильного расчета поливной нормы для той или иной культуры необходимо знать не только наибольшую глубину проникновения корней, но и размещение основной их массы (табл. 4.3), так как исходя из этого можно определить оптимальную глубину промачивания почвы при поливе.

Ряд авторов [16, 17, 25, 34, 51] считают, что ко времени полного развития корневой системы основная масса корней (до 80% и более) у глубококорневых растений концентрируется в верхнем слое почвы на глубине 0,7—0,9 м, у среднекорневых — на глубине 0,5—0,7 м и у короткокорневых — на глубине 0,3—0,5 м.

Ряд авторов [48, 55, 102, 112, 150, 186, 205] подробно изучали глубину и мощность корневой системы различных сельскохозяйственных культур, возделываемых на орошаемых землях. Однако результаты, полученные этими исследователями, не всегда согласуются между собой. Опытами Г. А. Гарюгина [48] и О. Г. Грамматикати [55], например, установлено, что корневая система озимой пшеницы в условиях степной зоны Краснодарского и Ставропольского краев проникает на глубину 2,7—3,0 м. Исследованиями, проведенными в штате Аризона (США), установлено, что озимая пшеница получает 85% воды с глубины 90 см и 15% — с 90—180 см [186].

М. С. Филимонов [186] отмечает, что как у озимой, так и у яровой пшеницы почвенная влага используется преимущественно из метрового слоя почвы и лишь к концу вегетационного периода иссушение достигает 1,3—1,4 м. Поэтому он делает вывод о том, что при влагозарядковых поливах озимую пшеницу следует увлажнять на глубину 1,2—1,5 м, а при вегетационных — на глубину 0,8—1,0 м [186].

Глубину активного (увлажняемого) слоя почвы обычно устанавливают тремя способами: 1) путем изучения общей мощности и характера расположения корневых систем; 2) по зонам иссушения почвы и 3) на основе анализа результатов полевых опытов [48]. Однако, как правильно заметил И. А. Кузник [103], оперируя лишь данными о влажности почвы, исследователь вообще не знает водного баланса, а потому уменьшение влажности в любом слое по глубине почвенного профиля принимает за водопотребление. В основе этой теории лежит сохранившаяся у многих исследова-

Таблица 4.3

**Размещение основной массы корней по почвенным горизонтам
в различные фазы роста и развития растений**

Культура	Фазы роста и развития растений	Глубина, до которой распространяется основная масса корней, см
Кукуруза	5—7 листьев	40—50
	Выбрасывание метелок	60—80
	Восковая спелость	90—100
Сахарная свекла	Укоренение	30—40
	Усиленный рост листовой поверхности	50—60
	Образование корнеплода	70—80
Подсолнечник	Образование четвертого листа	40—50
	Образование корзинки	60—70
	Цветение	80—100
Зерновые (колосовые)	Начало кущения	30—50
	Трубкавание	50—60
	Колошение	60—70
	Налив зерна, восковая спелость	70—80
Картофель	Усиленный рост листовой поверхности	30—40
	Бутонизация	50—60
	Образование клубней (цветение)	70—80
Овощи и столовые корнеплоды	Укоренение	20—30
	Развитие листовой поверхности	30—40
	Созревание	50—60
Люцерна	Интенсивное отрастание	60—80
	Бутонизация и цветение	90—100
Плодовые сеянцы		30—40
Молодые неплодоносящие сады		50—60
Ягодные кустарники		60—70
Плодоносящие семечковые сады		80—120

дователей теоретическая концепция, что после полива в почве на всю глубину активного слоя устанавливается НВ. Фактически же влага в этот период находится в подвешенном состоянии и не может продвигаться вниз в силу равновесия действующих сил — гравитационной и поверхностного натяжения. В дальнейшем же по мере просыхания верхнего горизонта почвы неизбежно передвижение влаги в зону корневого иссушения. В соответствии с основным на этой теории режимом орошения вся вода полностью расходуется на эвапотранспирацию с интенсивностью, зависящей от метеорологических условий, физиологических особенностей культур и фаз их развития. Аналогичного мнения придерживаются Н. Ф. Бондаренко, А. Р. Константинов [26], А. А. Богушевский [24], С. И. Харченко [189], Б. Б. Шумаков [207] и др.

В расчетах поливных норм для степных районов Западной Сибири и Южного Урала при поверхностных способах орошения (полив по бороздам пропашных и напуском по полосам зерновых культур и трав) при глубинах грунтовых вод более 5 м в большинстве случаев можно рекомендовать на суглинках следующую глубину активного слоя [134]:

многолетние травы и плодовые деревья	— 1,2 м,
глубококорневые растения (озимая пшеница, суданская трава, подсолнечник, сахарная свекла, кукуруза)	— 1,0 м,
среднекорневые культуры (зернобобовые, картофель)	— 0,8 м,
короткокорневые культуры (овощи)	— 0,6—0,7 м.

При поливе дождеванием глубина увлажняемого слоя почвы, по нашему мнению, должна быть уменьшена, по крайней мере, в 1,5—2,0 раза. Так, например, если при поливе по бороздам сахарной свеклы глубину увлажнения обычно принимают равной 0,8—1,0 м, то при дождевании требуется всего лишь 0,4—0,5 м. Основной причиной необходимости уменьшения глубины увлажняемого слоя при дождевании, как правильно заметил Г. А. Гарюгин [48], является возникновение поверхностного стока воды, интенсивность которого резко возрастает с увеличением поливных норм, что приводит во многих случаях к ирригационной эрозии почв.

По наблюдениям В. П. Сахончика [168], сильный поверхностный сток на тяжелосуглинистых заплывающих почвах Западной Сибири возникал через 30—40 мин после начала полива с помощью дождевальной установки ДДН-45. При заданной поливной норме 450 м³/га непосредственно в почву впиталось 260 м³, а остальное ушло на образование поверхностного стока. Аналогичное положение наблюдали автор и А. А. Дерингер [134] на орошаемом поле в совхозе «Петровский» Челябинской области в 1977—1978 гг. при поливе среднепоздней капусты сорта «Слава» дождевальной установкой ДДН-70: при поливной норме 350 м³/га в почву впиталось 300 м³.

Однако при уменьшении поливной нормы глубина увлажняе-

мого слоя должна быть не менее 40—60 см, так как влажность поверхностных горизонтов крайне неустойчива, влага быстро испаряется и поэтому слабо используется корнями растений. В то же время, как показали наши исследования в Алтайской Кулунде [132], при сравнительно высоком уровне грунтовых вод (менее 3 м), глубина увлажняемого слоя, сложенная с капиллярной каймой (высота слоя капиллярного увлажнения), должна быть меньше глубины их залегания.

4.4. Нижний предел увлажнения почв при орошении

Предполивная влажность (термин И. А. Кузника) получила у разных авторов самые различные недостаточно точные по смыслу названия: нижняя граница оптимальной влажности [148], нижний порог оптимальной влажности [103], влажность замедления роста [121] и др. В. С. Мезенцев [156] вслед за С. И. Долговым [64] и А. А. Роде [159] считает возможным принять W_0 равной влажности разрыва капиллярных связей (ВРК). Наиболее подходящим, по нашему мнению, термином является «нижний предел увлажнения». В большинстве случаев он близок или равен ВРК [133, 135]. Однако следует особо подчеркнуть, что различные сельскохозяйственные культуры совершенно неодинаково реагируют на содержание влаги в почве. В частности, на нижний предел увлажнения почв при орошении оказывают влияние почвенно-климатические и гидрогеолого-мелиоративные условия, размеры активного слоя почвы, уровень агротехники и др.

По данным многих авторов [16, 42, 48, 54, 89, 107, 115, 186, 209 и др.], нижний предел увлажнения почвы в опытах с различными орошаемыми культурами колеблется в следующих границах: озимая пшеница 70—80%, яровая пшеница 60—80%, кукуруза 60—85%, люцерна 70—85%, сахарная свекла 60—80%, овощные культуры и картофель 70—85% НВ.

Чем засушливее климатические условия при возделывании культуры на поливных землях, тем выше должна быть предполивная влажность почвы. М. Н. Багров, И. П. Кружилин [16] и М. С. Филимонов [186] рекомендуют в условиях Заволжья при орошении озимой и яровой пшеницы поддерживать сравнительно повышенную влажность почвы (не ниже 80—85% НВ) в острозасушливые годы и немного меньшую (75—80% НВ) в среднесухие годы.

Как отмечает Н. С. Петин [150], большую роль играют биологические особенности культур: возраст растений, интенсивность роста корней, а также глубина их проникновения в почву и размер поглощающей поверхности. При этом отмечается, что в средний период своего развития поливные культуры испытывают значительно большую потребность в продуктивной влаге, чем в начале и конце вегетации.

Изменение требований растений к наличию в активном слое

почвы запаса продуктивной влаги* по мере их роста и развития потребовало от исследователей разработки так называемых дифференцированных режимов орошения сельскохозяйственных культур. При этом весь период вегетации делится на три части: начальный, средний и завершающий. Для каждой из этих частей устанавливается свой нижний предел увлажнения: озимая пшеница 70—80—60% соответственно; кукуруза 65—70, 70—75, 65—70%; яровая пшеница 65—70, 75—80 и 65—70; сахарная свекла 70—80—70% НВ [16, 35, 48, 52, 54, 56, 185]. А. Р. Константинов [93, 94] считает, что наилучший рост орошаемых агроценозов обеспечивается лишь в том случае, если транспирация удерживается на максимальном для данных условий уровне, т. е. близка к испаряемости. Исходя из этого за оптимум увлажнения принимается НВ, что обеспечивает максимальную скорость подачи воды к корням растений.

В последние годы рядом почвоведов-исследователей [148, 159] в интервале ВРК—НВ дополнительно выделяется так называемая «истинная наименьшая влагоемкость» (ИНВ), равная ориентировочно 85% НВ. Почвенная влага в пределах ИНВ—НВ также отличается повышенной подвижностью и доступностью для растений.

В опытах Г. А. Гарюгина [48] в степной зоне Ставрополя прибавки урожая у всех культур наблюдались при изменении влажности с 60 до 70% НВ; при изменении влажности с 80 до 90% прибавки были значительно меньше, чем в первом случае (табл. 4.4).

Таблица 4.4

Урожайность сельскохозяйственных культур (т/га)
в зависимости от влажности верхнего метрового слоя почвы

Средняя влажность почвы, % НВ	Озимая пшеница	Кукуруза	Сахарная свекла	Горох
60	2,39	0,75	19,0	0,50
70	3,81	2,73	39,6	1,29
80	4,80	4,60	54,5	2,00
90	5,12	6,30	59,0	2,40
100	4,49	5,75	56,2	2,12
110	3,31	3,40	41,6	1,91
120	2,10	1,00	21,0	0,49

В результате исследований В. П. Панфилова [148] на легких каштановых почвах Центральной Кулунды установлено, что в интервале увлажнения от НВ до истинной наименьшей влагоемко-

* В нашем понятии запас продуктивной влаги (ЗПВ) равен разности НВ и ВЗ.

сти (75% НВ) почвенная влага, хотя и малоподвижна, но легко доступна для культурных растений. По мере снижения влажности почвы до 55% НВ стыковые, практически неподвижные скопления влаги непосредственно также доступны и усваиваются корнями растений, что обусловлено крупной порозностью супесчаных каштановых почв. При дальнейшем снижении влажности почвы доступность влаги для растений быстро уменьшается, достигая наименьшего значения при влажности завядания (ВЗ) или близкой к ней.

Следовательно, для супесчаных каштановых почв Центральной Кулунды в пределах Алтайского края и в Павлодарском Прииртышье нижний предел увлажнения почв при орошении лежит выше ВЗ, но опускается ниже истинной наименьшей влажности, характеризующей равновесное состояние увлажнения почвы. Это положение подтвердили также исследования К. Д. Каражанова [15] в Целиноградской области и автора [127].

Вопрос об оптимизации режима орошения основных сельскохозяйственных культур, как отмечают Н. Ф. Бондаренко и А. Р. Константинов [26], заслуживает дальнейшего изучения в связи с повышением культуры земледелия, разработкой методов программирования высоких урожаев, а также с внедрением новых прогрессивных способов полива (мелкодисперсное и импульсное дождевание, капельное и внутрипочвенное орошение и др.). Настало время для разработки методики расчета норм и сроков полива, которая бы учитывала как метеорологические условия конкретного года, так и биологические особенности орошаемых культур, а также гидрофизические свойства почвогрунтов.

4.5. О коэффициентах использования летних и осенне-зимних осадков на богарных и орошаемых землях

При определении оросительных норм M м³/га для различных сельскохозяйственных культур обычно пользуются широко известной формулой А. Н. Костякова [98]

$$M = K_b Y - (\mu X + W + \Gamma), \quad (4.15)$$

где K_b — коэффициент водопотребления, м³/т; Y — проектная урожайность т/га; X — сумма осадков за расчетный период, м³/га; μ — коэффициент использования осадков; $\mu = 1 - \eta$ (где η — коэффициент стока); W — запас продуктивной влаги к моменту сева, м³/га; Γ — количество используемых растениями грунтовых вод, м³/га.

Коэффициент использования естественных осадков вегетац-

онного периода, выраженный в формуле (4.15) через μ , до настоящего времени практически не изучен в условиях орошаемого земледелия. Поэтому проектировщики при расчетах режима орошения тех или иных сельскохозяйственных культур вынуждены пользоваться рекомендациями различных авторов для богарных условий.

В степной и лесостепной зонах страны важной задачей богарного земледелия является всемерное повышение эффективности летних и осенне-зимних осадков. Это связано с тем, что многие сельскохозяйственные культуры не дают стабильных урожаев без определенного минимума летних и осенне-зимних осадков (последние особенно важны, например, для озимых культур), а на богарных землях влажность корнеобитаемого слоя почвы чаще всего не бывает оптимальной, и потребность растений в воде не удовлетворяется.

Рекомендуемые различными авторами коэффициенты использования осадков значительно отличаются друг от друга. Так, по данным Л. С. Кельчевской [85], коэффициент использования почвой летних осадков на юге Украины и Крыма в среднем за годы наблюдений составляет для пропашных культур не менее 0,7 и для узкорядных 0,6 (включая 10—11% осадков, выпавших дождями до 5 мм).

Б. А. Шумаков [205] при разработке поливных режимов сельскохозяйственных культур по основным мелиоративным районам Северного Кавказа (Ростовская область, Краснодарский и Ставропольский край) получил следующие коэффициенты использования осадков: 0,5 — для холодного периода (декабрь — март), 0,6 — для весенне-летнего периода (апрель — июнь), 0,3 — для июля — августа, 0,54 — для сентября, 0,7 — для октября — ноября.

По данным А. М. Алпатьева [8], коэффициент использования осадков почвой за холодный период года (ноябрь — февраль) существенно меняется по географическим зонам и в степной зоне равен 0,6. При неустойчивой зиме на юге Украины и Северного Кавказа он не превышает 0,3—0,5 [89]. Эти выводы были подтверждены Г. К. Львовым [115], который для предгорных районов Северного Кавказа определил коэффициент накопления осадков: в богарных условиях он равен 0,44, а на орошаемых землях 0,25.

М. З. Журавлев [69] для условий Омской области принимает коэффициент использования осадков в теплый период года (май — август) равным 0,6. А. П. Федосеев и Н. С. Горюнов [54] считают, что для Казахстана коэффициент использования осенне-зимних осадков может быть принят для песчаных почв равным 0,77, для супесей 0,70 и для суглинков 0,62.

Л. С. Кельчевская [85] разработала подробные методические указания по расчету коэффициента поглощения почвой осенне-зимних осадков и влажности почвы для условий Украины. По данным о запасах продуктивной влаги (НВ—ВЗ) под различными сельскохозяйственными культурами и по количеству осенне-зим-

них осадков ею получены уравнения связи коэффициента поглощения почвой осадков с указанными компонентами. Для простоты пользования этими уравнениями в практических расчетах Л. С. Кельчевская построила оригинальные номограммы связи коэффициента поглощения осадков с осенней влажностью почв и количеством осенне-зимних осадков.

Таким образом, как правильно отмечает Н. Г. Грибкова [35], можно считать вполне доказанным, что противопоставление летних и осенне-зимних осадков неправомерно, так как и те, и другие для различных культурных растений имеют существенное, хотя и неодинаковое значение в различных почвенно-климатических зонах, поэтому все агротехнические мероприятия на богарных землях должны базироваться на дифференцированном учете осадков и холодного и теплого периодов года.

С. М. Перехрест [149] обобщил фактические данные по использованию осадков на орошаемых землях Украины. При наличии на орошаемой территории поливных борозд, полос и временных оросителей оттаявший верхний слой почвы сможет задержать и поглотить если не все зимние осадки расчетного года, то во всяком случае не менее 75—80%. При больших нормах осенних влагозарядковых поливов осенне-зимние осадки могут использоваться в меньшей степени.

На основе исследований С. М. Перехреста были получены коэффициенты полезного использования осадков на орошаемых землях юга Украины (табл. 4.5).

Таблица 4.5

**Коэффициенты использования осадков на орошаемых землях УССР
(по С. М. Перехресту)**

Коэффициент использования осадков	Для летних (вегетационных) осадков		Для осенне-зимних осадков	
	пропашные культуры	зерновые яровые культуры	ябл и сады	озимые и многолетние травы
Полезные осадки	0,90	0,85	0,80	0,70
Малоэффективные осадки	0,10	0,15	0	0,05
Бесполезные осадки	0	0	0,20	0,25

При определении поверхностного стока с орошаемой площади и при расчетах водосборно-сбросной сети на орошаемых землях малоэффективные осадки (термин С. М. Перехреста), как и полезные, необходимо учитывать как полностью задержанные на орошаемой территории [149].

Для вегетационного периода (май—август) в Алтайской Кулунде коэффициент использования осадков на богаре может быть принят равным 0,7—0,8, а для холодного периода (ноябрь—апрель) 0,6—0,7. Так как по метеостанциям степной зоны Цент-

ральной Кулунды (Ключи, Славгород и Баево) в нашем распоряжении не было данных о запасах продуктивной влаги в метровом слое почвы за последние годы, мы решили их рассчитать по сумме осадков за октябрь — декабрь и январь — апрель. Эта величина, принятая с коэффициентом 0,7, и определяет в первом приближении продуктивные запасы влаги в почве перед посевом. Сопоставление расчетных и фактических запасов за 1960—1964 гг. подтвердило правильность этого предположения [131].

Непосредственные наши исследования на орошаемых полях яровой пшеницы за три вегетационных периода (1963 г. — остро-засушливый, 1964 г. — средний и 1965 г. — засушливый) в Ключевском районе Алтайского края, проведенные по методике А. М. Алпатьева [8], показали, что коэффициент использования осадков мало изменяется из года в год и составляет в среднем 0,75 в остро-засушливые и засушливые годы и 0,85 для среднего по увлажнению года. Нашими опытами было также установлено, что в значительной степени он зависит от влажности полуметрового слоя почвы.

Вслед за А. Р. Константиновым [26, 94] мы также считаем, что даже малые осадки (меньше 5 мм) при смачивании растений повышают их тургор, приводят к сокращению транспирации и снижению температуры испаряющей поверхности. Все это благоприятно влияет на состояние и продукционный процесс растений, так как оптимизирует условия фотосинтеза. Такая влага для растений может быть даже «дороже» (термин А. Р. Константинова) той, которая попала непосредственно на поверхность почвы. Поэтому пренебрежение малыми осадками (менее 5 мм) является традиционной ошибкой мелиораторов-проектировщиков и приводит зачастую к завышению поливных и оросительных норм, что и является причиной подъема УГВ на орошаемых массивах.

4.6. Водный баланс оросительных систем

Регулярное орошение влияет на гидрометеорологическую обстановку природной среды и, следовательно, воздействует на элементы водного баланса орошаемых земель. Открытые оросительные каналы, заполненные водой при вегетационных поливах, изменяют микроклимат приземного слоя воздуха и содержание влаги в зоне аэрации почвогрунтов, воздействуют на размер поверхностного стока и суммарное испарение, а это в свою очередь ведет к резкому изменению режима грунтовых вод. Во многих случаях составляющие водного баланса (распределение зимних осадков, сток, аккумуляция на поверхности почвы) зависят не только непосредственно от поливов, но и в значительной мере от конструкции самой оросительной системы (закрытая, открытая или комбинированная).

Уравнение водного баланса оросительной системы в развернутом виде было впервые опубликовано академиком А. Н. Костяко-

вым [98]. При изучении влияния орошения на водные ресурсы бассейнов рек в условиях степной зоны используем формулу А. Н. Костякова в интерпретации И. А. Кузника [103]

$$Y = Y_6 - Y_p \pm \Delta Y \pm Y_n + Y_{др} - V + S, \quad (4.16)$$

где Y — преобразованный или прогнозируемый сток в изучаемом бассейне; Y_6 — бытовой сток (до строительства оросительной системы); Y_p — уменьшение стока в водосточнике после строительства на нем гидротехнических сооружений (потери на аккумуляцию); ΔY — изменение стока на территории, занимаемой оросительной системой; Y_n — перераспределение стока между бассейнами; $Y_{др}$ — дренажный сток; V — водозабор в голове оросительной системы; S — сброс неиспользованной части водозабора*.

Следует однако отметить, что в районах нового орошения, как правильно заметил И. А. Кузник, решение уравнения (4.16) затруднено из-за отсутствия достоверных данных о дренажном стоке и сбросе неиспользованной воды.

Для решения практических задач, связанных с прогнозом изменений почвенно-мелиоративных условий на орошаемых массивах степной зоны, применяются уравнения водного баланса грунтовых вод или совместное уравнение для грунтового потока и зоны аэрации. По И. А. Кузнику [103], это уравнение может быть представлено в следующем виде:

$$100\delta\Delta H = KX - \alpha X_{\text{вег}} - Y + M - П - S + f_k - E + P - O, \quad (4.17)$$

где δ — свободная порозность; ΔH — изменение уровня грунтовых вод; K — поправочный коэффициент к осадкам X , учтенным дождемером или осадкомером; $\alpha X_{\text{вег}}$ — доля осадков, задержанных растительным покровом в течение вегетации; S — сброс из каналов, M — оросительная норма; f_k — фильтрация из каналов; E — суммарное испарение, $П$ — фильтрационные потери за пределы активного слоя почвы; P — приток; O — отток грунтовых вод.

При использовании выражения (4.17) надо иметь в виду, что основные составляющие уравнения водного баланса к настоящему времени сравнительно хорошо изучены и поэтому в данной работе не рассматриваются. К таким величинам можно отнести KX [65, 156, 192], $\alpha_{\text{вег}}$ [8, 13, 85], f_k [2, 3], $П$ [103, 153, 189], P [47, 83, 110, 156].

В 1971—1980 гг. автором или под его руководством были выполнены исследования водного баланса оросительных систем на Южном Урале на старых оросительных системах (Домашкинская, Елшанская, Боровская, Петровская) с низким КПД, а в 1977—

* В настоящее время в мелиорации и мелиоративной гидрологии уравнение водного баланса сельскохозяйственных полей и массивов записываются в трех видах: зоны аэрации, водоносного слоя и общего слоя от поверхности до водоупора. Элементы этих уравнений в методическом отношении строго измеряются или рассчитываются [2, 189].— *Прим. ред.*

1980 гг.— на новых системах в колхозе им. XXII партсъезда Оренбургского района Оренбургской области (Городищенская оросительная система) и в колхозе «За мир» Илекского района Оренбургской области.

В колхозе «За мир» Оренбургской области исследования по определению составляющих водного баланса зоны аэрации были выполнены в 1970—1973 гг. М. И. Степановой [177]. Они проводились на надпойменных террасах р. Урал с достаточно хорошими условиями оттока грунтовых вод. Почвы участка — южные среднесуглинистые черноземы, подстилаемые аллювиальными и делювиальными четвертичными суглинками и супесями. Почвы незасоленные. Уровень залегания первого от поверхности водоносного горизонта составляет 10—12 м (крупные пески). Водупор залегает на глубине 16—20 м. Коэффициент фильтрации, определенный методом откачек из куста скважин, составляет 10 м/сут. Основные водно-физические свойства почв и грунтов опытного участка представлены в табл. 4.6.

Таблица 4.6

Водно-физические и мелиоративные показатели почв и грунтов зоны аэрации оросительной системы колхоза «За мир» (по М. И. Степановой)

Глубина, м	Объемная масса почвы, г/см ³	Плотность твердой фазы почвы, г/см ³	Связность, %	Массовая влажность почвы, %				Запас про-дуктивной влаги, мм	Коэффициент фильтрации, м/сут.
				МГ	НВ	ВРК	ВЗ		
0—0,3	1,08	2,71	60,0	7,8	23,6	15,9	10,4	49,2	1,05
0,3—0,6	1,22	2,77	56,0	7,4	23,2	14,9	10,0	48,3	1,37
0,6—1,5	1,27	2,74	53,7	7,4	19,9	13,7	8,8	126,9	1,00
0—1,0	1,22	2,73	55,3	7,3	22,9	14,9	9,8	160,0	1,10
1,5—2,0	1,40	2,60	46,0	—	22,0	12,0	—	—	0,97
2,0—4,0	1,43	2,51	43,0	—	19,0	—	—	—	0,36
4,6—6,0	1,45	2,59	44,0	—	18,5	—	—	—	0,24
6,0—8,0	—	—	—	—	18,0	—	—	—	0,18
Водоносный горизонт	—	—	—	—	—	—	—	—	10,0

На опытном участке в колхозе «За мир» (Оренбуржье) М. И. Степановой (1970—1973 гг.), автором и аспирантом В. Н. Федоровым (1977—1980 гг.) выполнен полный комплекс воднобалансовых мелиоративно-гидрологических, гидрогеологических и лизиметрических исследований.

По формуле (4.17) были рассчитаны среднегодовые из четырехлетних наблюдений (1970—1973 гг.) значения элементов вод-

ного баланса зоны аэрации и грунтовых вод по оросительной системе в колхозе «За мир» Илекского района Оренбургской области. Как видно из табл. 4.7, разность приходных и расходных элементов водного баланса составляет 33 мм при увеличении запасов грунтовых вод на 15 мм. Невязка водного баланса 18 мм.

Таким образом, на открытой оросительной системе в колхозе «За мир» основными источниками питания грунтовых вод являются зимне-весенние осадки (209 мм) и фильтрация из оросительных и сбросных каналов (69 мм). Несмотря на то что на оросительной системе (табл. 4.7) отток грунтовых вод больше притока (на 5 мм), ежегодный прирост уровня грунтовых вод в среднем по системе составляет около 40 см [103]. Аналогичное положение наблюдается и на Городищенской оросительной системе [135].

Таблица 4.7

**Водный баланс оросительной системы в колхозе «За мир»
(по М. И. Степановой и И. А. Кузнику)**

Приходные и расходные элементы водного баланса	Количество, мм
Сумма эффективных осадков вегетационного периода	129
Сумма осадков зимне-весеннего периода	209
Оросительная норма, нетто	344
Фильтрация из оросительных и сбросных каналов	69
Инфильтрация поливных вод при вегетационных поливах	46
То же, при влагозарядке	31
Приток грунтовых вод	45
Итого приходных элементов	873
Суммарное испарение	534
Поверхностный сток	14
Увеличение запасов по всей зоне аэрации (потери на фильтрацию)	242
Отток грунтовых вод	50
Итого расходных элементов	840

Мелиоративные прогнозы на проектируемой в Оренбуржье Черновской оросительной системе (6,6 тыс. га), составленные на основании водно-балансовых исследований в соседнем колхозе «За мир», определили ежегодный средний прирост УГВ на 0,45 м, а прогнозные сроки подъема грунтовых вод до критического уровня составляют от 9 до 35 лет в зависимости от их исходного состояния [177].

На основе изучения режимов грунтовых вод, влажности почвогрунтов зоны аэрации, суммарного испарения и других состав-

ляющих определен водный баланс орошаемого массива в степной зоне Оренбуржья (табл. 4.8). Общий период исследований составляет 4 года. За 1979 г. (с 15 ноября 1978 г. до 11 ноября 1979 г.) зона аэрации получила 811 мм влаги, из которых 23% ушло на пополнение запасов в этой зоне, а грунтовый поток получил 2,9%, что вызвало подъем уровня на 0,25 м. Иначе сложился баланс влаги зоны аэрации и грунтовых вод в 1980 г. В течение года (с 11 ноября 1979 г. до 20 ноября 1980 г.) зона аэрации получила практически такое же количество влаги, как и в предыдущем году. Однако ввиду того что общие запасы ее в этом году были выше, в 1980 г. на пополнение запасов грунтовых вод поступило 7,8% от суммы осадков и поливов, что больше, чем в 1979 г., в 2,7 раза. Из года в год по указанной причине интенсивность подъема УГВ повышается, и в 1980 г. он поднялся на 1,1 м.

Таблица 4.8

Водный баланс зоны аэрации и грунтовых вод (мм) на орошаемом массиве в колхозе им. Пугачева Оренбургского района Оренбургской области (по М. И. Степановой)

Элемент баланса		Период наблюдений					Итого за 4 года
		от 16 XI 1976 г. до 15 XI 1978 г.	от 15 XI 1978 г. до 20 V 1979 г.	от 20 V 1979 г. до 11 XI 1979 г.	от 11 XI 1979 г. до 28 IV 1980 г.	от 28 IV 1980 г. до 20 XI 1980 г.	
Оросительная норма, мм		888	—	414	—	473	1775
Атмосферные осадки, мм		719	153	244	156	221	1493
Суммарное испарение, мм		1254	—	618	—	591	2463
Изменение влагозапасов, мм		108	119	72	106	65	470
Поверхностный сток, мм		146	75	—	63	—	284
Разность между притоком и оттоком грунтовых вод, мм		60	50	47	37	4,0	78
Итого по балансу, мм		39	9	15	24	42	129
Изменение уровня грунтовых вод, м		0,65	0,15	0,25	0,40	0,70	2,15
Глубина УГВ от поверхности земли, м		5,80	5,65	5,40	5,00	4,30	—

Поверхностный сток составил 284 мм, или 8,7% суммы осадков и поливов. Основная доля стока приходится на весеннее половодье. Сток во время поливов составил в среднем за годы наблюдений 10—12% оросительной нормы [177]. Грунтовый поток получил инфильтрационное питание за вычетом испарения грун-

товых вод в размере 129 мм, в результате чего его уровень за 4 года наблюдений повысился на 2,15 м.

Согласно исследованиям А. Р. Константинова [93], интенсивность испарения зависит и от площади орошаемого участка: по мере уменьшения площади участка интенсивность испарения возрастает. Эта закономерность объясняется так называемым «краевым или оазисным эффектом», возникающим на границе двух разных поверхностей, и адвективным притоком тепла к испаряющей поверхности орошаемого поля, увеличивающим ее энергетические ресурсы. Учетом этого явления занимались также А. П. Вершинин [35], К. И. Харченко [187], С. И. Харченко [189] и др. Ими разработан ряд формул и построены зависимости испарения от размеров увлажненной поверхности.

Значение коэффициента K , учитывающего площадь орошаемого поля, зависит как от фактического размера самого поля, так и от степени увлажнения окружающей территории. В тех случаях, когда орошаемый массив имеет большую площадь и со всех сторон окружен другими орошаемыми полями, коэффициент $K=1$. В случае же, когда проектируемый орошаемый участок окружен как поливными, так и богарными (неорошаемыми) полями, значение этого коэффициента будет находиться в прямой зависимости от размера самого поля и площади его окружения в зоне непосредственного влияния подстилающей поверхности на показания метеостанции, расположенной в радиусе 30—40 км [27, 187]. Если же опытные данные отсутствуют, то можно воспользоваться отношением орошаемых площадей ко всей площади земель в хозяйстве, для которого проектируется поливная система (табл. 4.9). Если не учитывать влияние площади орошаемого поля, то ошибки составляют от 10 до 33% (табл. 4.9) в сторону завышения приходных элементов водного баланса (поливных и оросительных норм для больших орошаемых массивов) [26].

Таблица 4.9

Значение коэффициента K для орошаемых участков, расположенных в степной зоне (по А. Р. Константинову)

Отношение орошаемой площади к общей, %	Площадь орошаемого участка, га										
	1	25	50	75	100	125	150	200	300	500	1000
0	1,33	1,31	1,27	1,25	1,22	1,22	1,21	1,21	1,21	1,20	1,11
25	1,25	1,22	1,20	1,18	1,15	1,15	1,15	1,15	1,15	1,14	1,07
50	1,16	1,15	1,12	1,11	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,09	1,05
75	1,06	1,05	1,05	1,05	1,04	1,04	1,04	1,04	1,04	1,03	1,01
100	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0

Средние влагозапасы в расчетах И. Н. Шабалина и Л. П. Яблоковой [194] определяются как полусумма начальных и конечных влагозапасов почвы за расчетный интервал времени.

При этом не учитываются ни количество, ни время выпадения осадков внутри интервала, что порою ведет к значительным ошибкам расчета влагозапасов, далеко выходящим за пределы их точности.

Как правильно отмечают Н. Ф. Бондаренко и А. Р. Константинов [26], если осадки выпали в начале расчетного периода, а к концу его испарились, то значение фактических средних влагозапасов $W_{\text{ср}}$ будет выше, чем рассчитанных по формуле:

$$W_{\text{ср}} = \frac{W_{\text{н}} + W_{\text{к}}}{2} \quad (4.18)$$

Если же осадки выпали в конце расчетного периода, то значение средних влагозапасов по сравнению с фактическими будет резко завышенным. По нашему мнению, учет этого явления крайне необходим, особенно в теплый период вегетации основных сельскохозяйственных культур, возделываемых на орошаемых землях в условиях степной зоны, когда инфильтрация и сток с полей практически отсутствуют, а влагозапасы почвы наиболее резко колеблются [26, 135].

И. Н. Шабалин при построении биологических кривых суммарного водопотребления учитывал средний объем растительной массы по фазам развития орошаемых культур (см. табл. 3—4 на стр. 8—9 в работе [194]). На самом же деле, согласно исследованиям А. Р. Константинова [26, 93, 94], в конкретные годы и одинаковые фазы этот объем может существенно отличаться от средних значений. Это связано с тем, что испарение с поверхности почвы и суммарное испарение с поверхности травостоя (транспирация плюс испарение с почвы) различны [93].

4.7. Основные критерии регулирования стока при переменных оросительных нормах

На водохозяйственных системах, находящихся в зонах недостаточного и неустойчивого увлажнения, в различные по увлажнению годы изменяются как расходы воды в реках, так и оросительные нормы. Учет влияния изменчивости оросительных норм имеет важное практическое значение для рационального и экономного использования водных ресурсов.

При проектировании оросительных систем с многолетним регулированием стока оптимальный размер системы устанавливают обычно при постоянной водоотдаче источника орошения (водохранилища). Методика для этого случая разработана Я. Ф. Плешковым и К. И. Шаввой [196]. Такая практика приводит, как правило, к недоиспользованию водных и земельных ресурсов.

Автор и Я. Б. Гринберг [58] предложили новую методику учета влияния изменчивости оросительных норм для случаев многолетнего и сезонного регулирования стока. В основу методики положен принцип получения оптимального объема сельскохозяйственной продукции независимо от водности года.

Введем следующие обозначения:

F_v — мощность оросительной системы при переменных оросительных нормах (га); F_P — то же, при постоянной оросительной норме с обеспеченностью P (га); M — переменная оросительная норма ($\text{м}^3/\text{га}$); M_P — оросительная норма с экономически целесообразной обеспеченностью P ($\text{м}^3/\text{га}$); α — отдача водохранилища; P_α — обеспеченность отдачи водохранилища (%); P_w — обеспеченность стока (%); P_M — обеспеченность оросительной нормы (%); $\beta_{\max}$ — максимальная емкость водохранилища.

Для случая многолетнего регулирования стока выражение F_v можно рассматривать как функцию двух независимых случайных значений α и M . Обеспеченность P (F_v) в этом случае может быть записана в общем виде через распределение α и M следующим образом:

$$P(F_v) = \int_0^{M_{\max}} P_\alpha(F_v M) \varphi(M) \alpha M, \quad (4.19)$$

где $\varphi(M)$ — плотность распределения вероятности M .

Разлагая $P_\alpha(F_v M)$ в ряд Тейлора по $(F_v - \alpha)$, получаем

$$\begin{aligned} P(F_v) = P_\alpha(\alpha) + \int_0^{M_{\max}} \frac{\partial P_\alpha}{\partial \alpha} (F_v M - \alpha) \varphi(M) + \\ + \frac{\partial^2 P_\alpha}{\partial \alpha^2} \int_0^{M_{\max}} \frac{(F_v M - \alpha)^2}{2} \varphi(M) \alpha M. \end{aligned} \quad (4.20)$$

Анализ обобщенных кривых [43, 174] для расчета водохранилищ многолетнего регулирования показывает, что вторая производная обеспеченности водоотдачи в широком диапазоне регулирования весьма мала. Поэтому с достаточной степенью точности ею можно пренебречь. Таким образом, приближенно эту зависимость можно выразить следующим уравнением:

$$P(F_v) = P_\alpha(\alpha) + \frac{\partial P_\alpha}{\partial \alpha} (F_v \bar{M} - \alpha). \quad (4.21)$$

Следует, однако, иметь в виду, что осреднение оросительной нормы должно осуществляться с учетом их изменчивости до принятого расчетного значения заданной обеспеченности M_P , за пределами которой она остается неизменной. Таким образом,

$$\bar{M} = \int_0^{M_{\max}} M \varphi(M) \alpha M = M_P - \int_0^{M_P} P(M) \alpha M. \quad (4.22)$$

Поскольку при постоянной оросительной норме M_P обеспеченность водоотдачи ($\alpha = M_P F_v$) соответствует обеспеченности оро-

сительной системы F_v , то при $P(F_v) = P(\alpha)$ можно выявить зависимость между мощностями оросительной системы при постоянной и переменной оросительных нормах, которые определяются из выражения (4.22):

$$F_v \bar{M} - \alpha = 0 \text{ или } F_v \bar{M} = F_P M_P. \quad (4.23)$$

Следовательно, учитывая (4.23), можно получить выражение

$$F_v = F_P \frac{1}{1 - \frac{1}{M_P} \int_0^{M_P} P(M) \alpha M} \quad (4.24)$$

Учет изменчивости оросительной нормы позволяет увеличить площадь оросительной системы при той же водоотдаче α расчетной обеспеченности $P\%$. Осредненное значение $M_P = \int_0^{M_P} P(M) \alpha M$ можно вычислить по заданному графику $P(M)$.

Если же водохранилище имеет сезонное регулирование, то при учете изменчивости оросительной нормы при заданном объеме водохранилища мощность оросительной системы увеличить нельзя, так как она определяется заданной емкостью $\beta_{\max}$. Однако в этом случае можно увеличить обеспеченность водоотдачи, что в свою очередь позволяет более рационально использовать стоковые характеристики и увеличить $\beta_{\max}$.

При заданных функциях распределения обеспеченности поверхностного стока и обеспеченности водоотдачи объем водохранилища определяется уравнением

$$P_\alpha = P_w(\beta_{\max}). \quad (4.25)$$

При этом сработка водохранилища в расчетный период происходит полностью.

В случае же переменной оросительной нормы полная сработка водохранилища происходит не каждый год и обеспеченность водоотдачи определяется выражением

$$P_\alpha = \int_0^{\beta_{\max}} P_w(\beta_{\max} - \beta_0) \varphi(\beta_0) \alpha \beta_0, \quad (4.26)$$

где β_0 — несработанный объем водохранилища.

После осреднения по β_0 из выражения (4.26) можно получить

$$P_\alpha \geq P_w\left(\beta_{\max} \frac{\bar{M}}{M_P}\right). \quad (4.27)$$

Таким образом, из выражения (4.27) видно, что при переменной оросительной норме (M) обеспеченность отдачи водохранилища увеличивается по сравнению с нормативной. Для приведения ее к нормативному значению можно соответственно увеличить

емкость водохранилища и, следовательно, более рационально использовать сток реки. В некоторых случаях учет изменчивости оросительной нормы позволит перейти от многолетнего регулирования стока к сезонному, что резко удешевит стоимость водохранилища.

4.8. Сток с орошаемых земель

В настоящее время имеются весьма ограниченные сведения о формировании поверхностного стока с орошаемых территорий [161, 213, 214, 219, 298, 314].

По мнению И. А. Кузника [103], оросительная система воздействует на поверхностный сток вследствие изменения физических свойств почвы и ее водного режима. Большую роль имеют также конструкции оросительных систем (открытые или закрытые), а при поливах дождеванием уплотнение почв и уменьшение инфильтрационной способности.

На закрытых оросительных системах сток с орошаемых площадей значительно больше, чем с неорошаемых [103]. Особенно большое положительное влияние на формирование поверхностного стока оказывают влагозарядковые поливы в маловодные годы, когда сток на богаре мал. В многоводные же годы, когда влажность поверхностных горизонтов орошаемых и неорошаемых площадей более или менее одинакова, значения коэффициентов стока с них довольно близки. В среднем же коэффициенты стока на орошаемых площадях закрытых оросительных систем [103] в 2,5 раза больше, чем на неорошаемых.

Аналогичные данные ранее приведены С. И. Харченко [189] на Нижнедонской оросительной системе (Ростовская область).

Иная картина формирования поверхностного стока в весенний период наблюдается на оросительных системах открытого типа и на небольших водосборах, расположенных внутри оросительных систем.

В качестве примера рассмотрим материалы наблюдений за весенним стоком [133, 177]. Они были организованы на Городищенской оросительной системе (колхоз им. XXII партсъезда Оренбургского района Оренбургской области) в 1977—1980 гг. и в колхозе «За мир» Илекского района в 1971—1974 гг. Оросительные системы — открытого типа, полив на них осуществляется с помощью дождевальной установки ДДА-100МА.

Снегосъемки на Городищенской оросительной системе показали, что в среднем на расстоянии 20—25 м по каждую сторону от каналов снегозапасы составляют 250—300%, а в межканальной зоне 65—70% общей суммы осадков. Отношение между снегозапасами в приканальной и межканальной зонах открытой оросительной системы составляют 2,1—3,15.

В результате фактических наблюдений за стоком снеговых вод на орошаемых массивах Оренбуржья (табл. 4.10) получено, что

коэффициент стока за весь период наблюдений находился в пределах 0,07—0,16. Среднее значение коэффициента поверхностного стока с соседних неорошаемых водосборов (бассейн р. Урал) за 1971—1973 гг. составило 0,6 (Оренбургская ГМО, 1973 г.), т. е. в несколько раз больше. Эти цифры сопоставимы с результатами наблюдений в Заволжье [77, 103].

Таблица 4.10

Весенний сток с орошаемых земель (чернозем южный, тяжелосуглинистый)

Год	Запасы влаги в двухметровой толще, мм			Снегозапасы и осадки периода половодья, мм	Поверхностный сток, мм	Коэффициент стока
	до снеготаяния	после снеготаяния	приращение влагозапасов			
1971	306	592	286	287	20	0,07
1972	347	572	225	207	20	0,10
1973	408	581	173	152	22	0,14
1974	358	579	221	216	31	0,13
1977	378	558	180	246	27	0,11
1978	401	596	195	263	42	0,15
1979	389	537	198	248	39	0,16
1980	354	574	220	200	24	0,12

В 1975 и 1976 гг. автором и А. А. Дерингером [134] проводились наблюдения за стоком снеговых вод на оросительной системе открытого типа в совхозе «Петровский» Красноармейского района Челябинской области (лесостепная зона). На орошаемом массиве были созданы стоковые площадки (20×50 м) в четырехкратной повторности, оборудованные водоприемными устройствами и гидрогеологическими наблюдательными скважинами. Характер поверхности — зябь (осенняя пахота после уборки овощных культур), средний уклон стоковых площадок 0,009.

В течение зимних периодов 1974–75 и 1975–76 гг. на орошаемом массиве проводились регулярные снегомерные съемки и наблюдения за уровнем грунтовых вод. Около 60—70% всех снежных запасов орошаемого массива было сосредоточено в каналах и у приканальной бровки. Кроме того, плотность снега в каналах составила 0,29—0,30 г/см³, в то время как на открытой поверхности массива 0,20 г/см³. Таяние снега на стоковых площадках в 1975 г. прошло за один день (13 марта) при соллярном типе погоды, а в 1976 г. — за два дня (3 и 4 апреля) при пасмурной погоде.

В 1974 г. массив «ушел в зиму» при влажности метрового слоя почвы, равной 75% НВ, а в 1975 г. — при 65% НВ (НВ — метрового слоя тяжелосуглинистых почв опытного участка составляет 374 мм). Результаты воднобалансовых расчетов и данные фактических наблюдений на стоковых площадках приведены в табл. 4.11.

**Весенний сток с орошаемых земель при солярном (1975 г.)
и адвективном (1976 г.) типах снеготаяния**

Номер стоковой площадки	Уклон	Запас воды в снеге, мм		Запас влаги в метро- вом слое почвы перед снеготаянием, мм		Слой стока, мм	
		1975 г.	1976 г.	1975 г.	1976 г.	1975 г.	1976 г.
1	0,007	48	40	310	280	0,02	0
2	0,010	46	42	310	280	0,09	0
3	0,011	49	43	310	280	0,04	0
4	0,008	50	40	310	280	0,03	0

Поверхностный сток на оросительных системах открытого типа в условиях степного Зауралья оказался ничтожным (менее 0,1 мм в маловодные годы). Микро- и мезорельеф открытых оросительных систем благоприятствует накоплению снега в каналах и в приканальной части, что, естественно, резко повышает уровни грунтовых вод на орошаемых массивах в весенний период. Причиной резкого снижения стока на орошаемом поле в нашем случае явились открытые каналы и резервуары, аккумулирующие воду или оказывающие механическое противодействие стеканию воды по поверхности. Это обстоятельство необходимо учитывать при проектировании и размещении наблюдательных скважин на орошаемых массивах.

4.9. Использование сточных вод для орошения сельскохозяйственных культур в степной зоне

В связи с прогрессирующим ростом объема сточных вод важнейшей народнохозяйственной задачей является изыскание эффективных мер по их обезвреживанию и рациональному использованию в сельскохозяйственном производстве. Максимальное использование промышленных и хозяйственно-бытовых сточных вод в сельском хозяйстве позволяет одновременно решать несколько задач: обезвреживание и очистку сточных вод; повышение плодородия почв и увеличение урожайности сельскохозяйственных культур, а также защиту рек и озер от загрязнения. Как показывает отечественная [10, 79, 184] и зарубежная [210, 215] практика, естественная биологическая очистка стоков, осуществляемая в основном в биологических прудах и на земледельческих полях орошения (ЗПО), достаточно эффективна и отвечает санитарным требованиям.

В степном Оренбуржье в связи с интенсивным развитием газовой промышленности резко увеличивается потребность в пресной воде. Одновременно из-за сброса сточных вод в открытые водое-

мы качество ее ухудшается. Поэтому использование для полива сельскохозяйственных культур сточных вод является надежным методом защиты водисточников от загрязнения.

В ближайшие 15 лет планируется использовать в бассейне р. Урал в пределах Уральского экономического района сточные воды для полива сельскохозяйственных культур на площади более 100 тыс. га. Основные площади сельскохозяйственных полей орошения (ЗПО) будут размещены около городов Свердловска, Челябинска, Уфы, Оренбурга, Орска, Магнитогорска, Кургана и др.

ЗПО — специализированные мелиоративные системы для приема предварительно очищенных сточных вод в целях использования их для орошения и удобрения сельскохозяйственных угодий, а также доочистки в естественных условиях. Качество доочистки стоков на сельскохозяйственных полях орошения зависит от их мелиоративного состояния и возделываемых культур.

На ЗПО Оренбургского газового комплекса (ОГК), расположенных на территории землепользования колхоза им. Пугачева Оренбургской области, впервые в Советском Союзе используются для полива кормовых культур сточные воды газовой промышленности. Минерализация их колеблется от 1,2 до 2 г/л. Почти для всех показателей сточных вод не превышаются ныне существующие предельно допустимые концентрации (ПДК, табл. 4.12). Отрицательным качеством их является повышенное содержание сульфатов, хлоридов и натрия. Кроме того, оценка пригодности сточных вод для орошения по соотношению катионов, проведенная по известным расчетным формулам, показала, что в последние годы содержание одновалентных катионов превысило допустимые концентрации. Следовательно, полив ими может вызвать осолонцевание почв [79].

Изучение влияния поливов сточными водами ОГК на мелиоративное состояние ЗПО, урожай и качество продукции проводилось на посевах двух основных культур кормового севооборота: люцерны и кукурузы. Исследования были начаты с 1976 г. аспирантом Оренбургского СХИ А. Ж. Калиевым и доцентом М. И. Степановой.

Климат района исследований резко континентальный и засушливый. Среднегодовая сумма осадков составляет 370 мм, из которых около 70% приходится на теплый период. Основными почвенными разностями ЗПО являются южные черноземы от легкого до тяжелосуглинистого механического состава. Почвы обоих участков — незасоленные [79]. Оросительная система площадью 1200 га была построена в 1974 г. по проекту Гипроводхоза. Кормовые культуры поливались дождевальными машинами «Фрегат».

На участке люцерны доминирующими почвами являются тяжелосуглинистые черноземы. Почвообразующей породой служат желто-бурые суглинки мощностью 4 м, далее, на глубине 4,3 м располагается мелкозернистый буровато-серый трещиноватый

песчаник на глинистом цементе слоем 0,6 м. Грунтовые воды находятся на глубине 5,5—6,5 м. Минерализация их 0,2 г/л.

Кукуруза возделывалась на легкосуглинистых южных черноземах малой мощности. Почвенный слой подстилает буровато-желтая твердая супесь с прослоями песка, далее располагаются пермские отложения, представленные аргиллитами с прослоями песчаников. Уровень грунтовых вод находится на глубине 9—10 м. Минерализация их 0,25 г/л.

Таблица 4.12

Химический состав сточных вод ОГК (средний за 1976—1980 гг.)

Наименование ингредиентов	Содержание, мг/л	Наименование ингредиентов	Содержание, мг/л
pH	7,4	Азот органический	1,59
Взвешенный осадок	2,2	Азот общий	4,62
Сухой остаток	1624	БПК ₅	8,28
Прокаленный остаток	1290	Летучие кислоты	49,8
Общая щелочность	156	Фенол	1,3
Хлориды	370	Формальдегид	0,5
Сульфаты	564	Окисляемость бихроматная, мг O ₂ /л	64
Кальций	107	Медь	0,08
Магний	69	Цинк	1,5
Общая жесткость, мг-экв/л	10,8	Свинец	0,0045
Натрий	329	Никель	0,0150
Калий	52	Кобальт	0,0080
Железо общее	1,0	Хром	0,0120
Фосфор	0,5	Молибден	0,0060
Азот аммиачный	2,33	Барий	0,0750
Азот нитратный	0,37	Стронций	0,9000
Азот нитритный	0,04	Марганец	0,9000

При оптимальном режиме орошения (с нижним порогом влажности 75—80% НВ) суммарное испарение кукурузы на силос составило 417 мм, а люцерны на сено 616 мм (табл. 4.13). Коэффициенты водопотребления соответственно равны 90 и 509 м³ на 1 т продукции.

В условиях ЗПО водопотребление кукурузы в зависимости от увлажненности года на 50—80% идет за счет поливов и на 15—30% за счет осадков. На легких суглинках данного участка до 14% оросительной нормы теряется на инфильтрацию (по результатам тензиометрических наблюдений). На участке люцерны около 71% суммарного испарения обеспечивается поливами. Тяжелосуглинистые грунты участка уменьшают инфильтрацию

в 1,6 раза. При глубоком залегании грунтовых вод сточные воды не оказывают отрицательного влияния на потребление влаги растениями.

Таблица 4.13

Элементы водного баланса активной зоны опытного участка
в среднем за 1978—1980 гг. (по А. Ж. Калиеву)

Вариант опыта	Осадки		Полив		Использован- ные влагозапа- сы почвы		Поверхнос- тный сток+ инфильтра- ция		Суммарное испарение, мм
	мм	%	мм	%	мм	%	мм	%	
Кукуруза на силос									
Полив сточной водой	107	25,6	267	54	81	19,4	38,0	9,0	417
Богара	105	41,0	0	0	151	59,0	0	0	256
Люцерна на сено									
Полив сточной водой	142	23,0	435	70,6	141	22,9	102,0	16,5	616
Богара	113	32,2	0	0	238	67,8	0	0	351

Исследованиями установлено, что за четыре года орошения люцерны биологически очищенными сточными водами Оренбургского газового комплекса (ОГК) произошло изменение физических свойств почв до глубины 1 м и агрегатного состава до глубины 60 см. Так, объемная масса почвы увеличилась в слое 0—30 см на 23%, в слое 30—60 см — на 15% и в слое 60—100 см — на 7%; количество водопрочных агрегатов (диаметром 0,25—5 мм) уменьшилось в два раза и водопроницаемость почв снизилась на 36% (с 1,2 до 0,82 м/сут). На участке кукурузы (на легких суглинках) негативные явления выражены слабо.

Орошение сточными водами практически не повлияло на пищевой режим почвы. Ежегодно при поливе люцерны вносится 6,5 т/га солей, 25% которых остается в подпахотном горизонте, а остальная часть вымывается ниже однометровой толщи или выносится с урожаем. На участке кукурузы все количество солей, внесенное с водой (4,7 т/га), остается в активной зоне (1,5 м) из-за наличия трудноводопроницаемой аргиллитовой прослойки, залегающей на глубине 1,6 м. Она способствует образованию восходящего тока влаги в межполивной период и накоплению солей в верхних горизонтах почвы. В целом общие запасы солей на обоих участках далеки от пороговой концентрации.

При сравнительно небольшом засолении на тяжелосуглинистых почвах наблюдается незначительное осолонцевание верхних горизонтов. Так, содержание поглощенного натрия в слое почвы 0,40 см повысилось в 5,5 раза и достигло 2,8 мг-экв, а в слое

70—100 см — 4 мг-экв, что соответственно составляет 6—8% емкости поглощения. Усилению процесса осолонцевания также способствуют увеличение содержания поглощенного магния и уменьшение кальция.

В результате пятилетнего орошения сточными водами ОГК на основной территории ЗПО уровень грунтовых вод и их минерализация не изменились. Интенсивный подъем УГВ (на 1,8—2,1 м) произошел только на отдельных участках с близким расположением водоносного горизонта. Минерализация грунтовых вод на этих территориях повысилась с 0,2 до 1,2 г/л за счет ионов натрия, хлоридов и сульфатов, т. е. она связана с химическим составом сточных вод.

На посевах люцерны при близком залегании грунтовых вод (1—3,5 м) сточные воды снижают суммарное испарение и расход грунтовых вод в зону аэрации. Основной причиной является повышенное содержание ионов натрия в сточных водах. Оно привело к ухудшению физических свойств и осолонцеванию верхних горизонтов почвы (тяжелые суглинки), что сопровождалось снижением скорости движения влаги к растениям.

Для предотвращения загрязнения грунтовых вод при близком их залегании (1—3,5 м) необходим дифференцированный режим орошения. При этом поливная норма снижается на величину, численно равную капиллярному подпитыванию за межполивной период. В среднесушливые годы обеспеченность активного слоя почвогрунтов влагой за счет влагообмена грунтовых вод с зоной аэрации при глубине залегания грунтовых вод 1 м составляла 64%; при 1,5 м—39%; при 2,5 м—23% и при 3,5 м—16%.

Пригодность сточных вод ОГК для орошения оценивалась также путем агробиологических исследований. Наблюдения аспиранта А. Ж. Калиева за ростом и развитием кукурузы показали, что при поливе сточной водой и водой р. Урал существенных различий в наступлении фенологических фаз не происходило. Высота растений была при поливе сточными водами больше на 20—30 см, чем при поливе водой р. Урал. Растения при этом отличались хорошей облиственностью и большей массой початков, что способствовало увеличению питательности кукурузы. Урожай люцерны на сено и кукурузы на силос по сравнению с непользованными вариантами повышается соответственно в 4,8 и 3,3 раза и составляет 12 и 48 т/га. Кукуруза при поливе сточными водами дает силоса в среднем на 25 т/га больше, чем при поливе водой р. Урал.

Система подачи, накопления и распределения сточных вод на поля орошения позволяет использовать весь годовой объем стоков (4,1 млн. м³) на поливы, что предотвращает сброс их в р. Урал и сокращает расходы на глубокую доочистку.

При определении экономической эффективности ЗПО учитывалось получение добавочного чистого дохода (мелиоративный эффект) за счет повышения урожайности и уменьшение

расходов на очистку или доочистку сточных вод, проводимую в целях охраны источников от загрязнения (водоохраный эффект). Валовая стоимость продукции при орошении выше, чем без полива, в 4,7 (люцерна) и 3,8 раза (кукуруза). Себестоимость 0,1 т кормовых единиц люцерны и кукурузы на силос примерно одинакова и составляет 2,53 руб. Высокие затраты труда на поливных вариантах кукурузы связаны с проведением поверхностного полива. Чистый доход с 1 га от выращивания люцерны составляет 454 и кукурузы 421 руб. Полив кукурузы сточной водой дает дополнительно по сравнению с поливом уральской водой около 100 руб. чистого дохода (табл. 4.14).

Таблица 4.14

Экономическая эффективность использования сточных вод для орошения (по М. И. Степановой и А. Ж. Калиеву)

Вариант	Уро- жай,* т/га	Прямые зат- раты, руб.		Затраты тру- да, чел.-ч		Чистый до- ход, руб.		Уровень реп- табельности, %
		на 1 га	на 1 т к. ед.	на 1 га	на 1 т к. ед.	на 1 га	на 1 т к. ед.	
Люцерна								
Полив сточной водой	9,15	239,1	25,3	20,6	2,2	454,3	49,6	193
Без полива	1,82	73,8	40,5	6,6	3,6	62,7	34,4	85
Кукуруза								
Полив сточной водой	8,61	225,1	26,1	79,3	9,2	420,6	48,8	187
Полив уральской водой	7,27	219,9	30,2	78,1	10,7	325,3	44,7	148
Без полива	2,05	83,2	40,6	20,1	9,8	70,5	34,3	85

* Кормовых единиц (к. ед.).

Результаты исследований А. Ж. Калиева и М. И. Степановой [79] позволяют сделать вывод о целесообразности использования в Оренбуржье сточных вод газовой промышленности на ЗПО при возделывании кормовых культур на супесчаных и легкосуглинистых черноземах при сравнительно глубоком залегании грунтовых вод (5,5—6,5 м от поверхности). На тяжелосуглинистых почвах происходит осолонцевание верхнего метрового горизонта почвы. На ЗПО целесообразно выращивать на корма в первую очередь люцерну и кукурузу. Для предотвращения дальнейшего ухудшения мелиоративного состояния территории (например, осолонцевания) с тяжелосуглинистыми почвами при близком залегании грунтовых вод (менее 3 м) необходимо строительство разреженного, а местами и систематического дренажа. Устранить недостаток кальция в сточных водах ОГК и в тяжелосуглинистых почвах можно также путем внесения его с удобрениями в виде гипса, фосфогипса совместно с кальциевой селитрой.

4.10. Агрогидрологические особенности развития орошения в степной зоне Кулундинского канала

Значительная изменчивость осадков по годам и в течение года определяет характер регулярного орошения в степной зоне. В пустынных и полупустынных районах, например, Средней Азии, где осадков выпадает значительно меньше, чем в степных засушливых районах, и менее выражена их изменчивость, режим орошения из года в год более или менее одинаков. В степной же зоне режим орошения каждой культуры меняется в зависимости от степени засушливости года, так как оросительная вода является лишь дополнением к сумме полезных осадков. Засушливые годы здесь чередуются с многоводными, когда естественные осадки обеспечивают получение высоких урожаев полевых культур иногда даже без полива.

Необходимо различать два режима орошения: 1) проектный, который основан на учете влагообеспеченности основных сельскохозяйственных культур в среднемноголетний или характерный по увлажнению годы (рис. 4.5) и предназначен для проек-

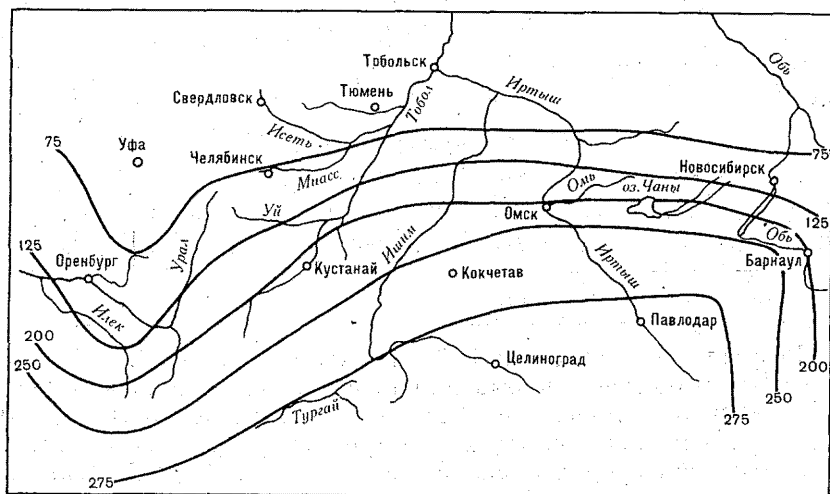


Рис. 4.5. Схематическая карта среднееголетних значений недостатка водопотребления M за период вегетации яровой пшеницы (мм).

тирования на его основе оросительных систем (пропускной способности каналов или трубопроводов); 2) эксплуатационный, зависящий от конкретно складывающихся погодноклиматических условий, состояния возделываемой культуры, запаса продуктивной влаги и предназначенный в основном для оперативного планирования водопользования и поддержания на достаточно высоком уровне тургора растений.

Проектный режим орошения обычно разрабатывается для так называемого засушливого года (85%-я обеспеченность по сумме осадков) с учетом того, что оросительная система будет обеспечена водой в любые иные по сумме осадков годы. Эксплуатационный режим орошения в степной зоне должен быть переменным, учитывающим естественное увлажнение каждого года, а также достаточно гибким с тем, чтобы пополнять недостаток влаги в почве во все периоды роста и развития сельскохозяйственных культур. В острозасушливые годы оросительная норма и число поливов больше, во влажные годы — меньше. Таким образом, погодные условия определяют не только сроки поливов, но и оросительную норму. При этом необходимо учитывать количество атмосферных осадков за вегетационный период: осадки 5—10 мм мало влияют на срок очередного полива, 10—25 мм отодвигают его на 4—5 дней, а 25—30 мм заменяют полив для ряда культур.

Необходимость регулярного орошения в степной зоне Алтайского края бесспорна. Высокопродуктивное и устойчивое сельскохозяйственное производство здесь может быть создано лишь с помощью искусственного орошения в сочетании с другими мероприятиями по повышению обеспеченности растений влагой: снегозадержанием, устройством лесных полос, специальными приемами обработки почвы и др. [123].

Орошение земель целинных совхозов и колхозов степной зоны Алтая, где пашня занята в основном зерновыми культурами, в условиях засушливого климата является в настоящее время и в перспективе основным средством интенсификации сельскохозяйственного производства. Однако здесь орошаемые земли все еще плохо осваиваются, что объясняется громоздкостью оросительных систем, слабой оснащенностью их поливной техникой, нехваткой специалистов-мелиораторов, низкой производительностью труда на орошаемых землях. Поэтому такие системы не получили широкого распространения, а на базе их, например, в зоне Кулундинского канала осваиваются лишь небольшие орошаемые участки, предназначенные в основном для выращивания овощных и кормовых культур. По мнению автора [128] и А. Д. Саваренского [165], необходимо найти новые принципы организации в степной зоне орошения зерновых культур и трав, при которых производительность труда не снижалась бы по сравнению с богарным земледелием и которые были бы дешевле и экономичнее, чем рядовые оросительные системы.

Принципы организации степного орошения в перспективе могут быть следующими:

- освоенные совхозами и колхозами методы и приемы полевых работ на богарных землях не должны претерпевать резких неблагоприятных изменений при введении на них орошаемого земледелия;

- производительность труда, уровень механизации и использования существующих машин при введении орошения не долж-

ны снижаться. Кроме того, нецелесообразно вводить новые принципы механизации земледельческих работ и особые сельскохозяйственные машины;

— производство и технология поливов не должны требовать создания новой для степных районов профессии поливальщиков. Поливы должны выполнять обычные тракторные бригады;

— поливы должны по возможности выполняться в масштабах отделений совхозов и бригад колхозов (подобно пахоте, севу и уборке).

Известно, что при орошении больших сплошных массивов изменяются природные условия и нарушается естественное равновесие между поверхностными и грунтовыми водами. Поэтому во многих случаях ошибки в проектировании крупных орошаемых массивов при слабой естественной дренированности территории могут привести к вторичному засолению или к заболачиванию. Необходимость строительства дренажа на вновь орошаемых массивах определяется наличием засоленных почв и грунтовых вод; тип дренажа и его параметры устанавливаются на основе анализа водного и солевого (расчлененных) балансов, прогнозов и технико-экономических расчетов.

Для ряда районов Центральной Кулундинской аллювиальной равнины характерен плоский рельеф, малые уклоны (менее 0,00001), легкие почвы (супесь), хорошо проницаемые водоносные толщи и близкое залегание грунтовых вод. В этих условиях, как подтвердили полевые опыты и теоретические расчеты, более эффективны небольшие поливные нормы (30—40 мм), но поливы должны проводиться чаще. На мощных поливных системах высокой производительности следует совмещать функции водозаборных заглубленных каналов и распределителей и коллекторов, т. е. дренажно-сбросной сети.

Опыт эксплуатации крупных оросительных каналов как в нашей стране, так и за рубежом позволяет утверждать, что влияние каналов на режим рек, водоемов и вообще на окружающую среду проявляется в основном через подземные (грунтовые) воды, т. е. является следствием нарушения естественного характера взаимосвязи поверхностных и подземных вод в приканальной территории.

Наблюдения показывают, что под влиянием фильтрации из канала могут быть существенные изменения в режиме грунтовых вод — подъем их уровней. При подъеме уровней грунтовых вод выше критического (2—2,5 м и менее от поверхности), вызванных фильтрацией открытых каналов и водохранилищ в процессе их эксплуатации, могут развиваться процессы вторичного засоления, осолонцевания и слитизации почв.

Обычно степень влияния грунтовых вод на формирование и прогноз мелиоративного состояния крупных орошаемых массивов оценивается в зависимости от критической глубины их залегания. Как правило, критическая глубина (термин Б. Б. Полынова) либо отмечается по появлению вторичного засоления в ак-

тивном слое почвогрунта, либо рассчитывается исходя из мощности капиллярной каймы и активного слоя. Но мощность капиллярной каймы, например, для тяжелых грунтов слишком велика (4 м и более), чтобы данными о ней можно было пользоваться при расчетах (эффективность дренажа и т. п.). Кроме того, рекомендуемые критические глубины часто имеют привязку только к климату, почвам, литологии зоны аэрации, минерализации грунтовых вод и реже — к виду растения.

Полученный же автором фактический материал полевых исследований водно-солевого режима территории Центральной Кулунды свидетельствует о том, что степень влияния грунтовых вод на мелиоративное состояние территории определяется еще и режимом поверхностного увлажнения, условиями подземного влагообмена, запасом солей в зоне аэрации и системой агромероприятий. Причем из всех факторов ведущими являются режим поверхностного увлажнения и подземный влагообмен. Воздействуя на них, можно управлять критической глубиной залегания грунтовых вод. Однако ориентироваться в вопросах управления мелиоративным состоянием территории только на критическую глубину не всегда рационально. Здесь следует выделить два основных направления — субиригацию (в смысле использования грунтовых вод как одного из источников снабжения растений влагой) и практическое исключение влияния грунтовых вод на мелиоративную обстановку.

Одной из основных артерий, подающих воду в Центральную Кулунду, является Кулундинский канал с общей протяженностью 182 км с забором воды из р. Оби и максимальным расходом до 30 м³/с. Подача воды в канал осуществляется преимущественно с помощью механического подъема насосными станциями. Кулундинский канал предназначен для обеспечения водой Новотроицкого и Златополинского опытно-производственных орошаемых массивов, а также орошения участков вдоль трассы канала на общей площади 38 тыс. га. Трасса канала пролегает в сложных гидрогеологических условиях, для которых характерны различия в уровне залегания грунтовых вод, наличие грунтов с неоднородным литологическим строением, а местами довольно широкое распространение лессовых просадочных пород.

Ю. Н. Акуленко (Алтайский филиал СибНИИГиМа), Ю. И. Винокуров и А. М. Языков (лаборатория экологии Института географии Сибири и Дальнего Востока) провели в 1979—1982 гг. цикл полевых исследований для определения влияния канала на режим грунтовых вод. Наблюдения осуществлялись в верхней (Камень) и средней (Гонохово) частях действующего канала по двум режимным профилям [4, 36]. Режимные наблюдения на Каменском створе велись по профилю из 11 скважин, расположенных в крест простиранию канала. Как отмечает А. М. Языков [209], за два сезона эксплуатации канала (1978—1979 гг.) скоростной режим отсутствовал, водой канал заполнялся; как правило, в середине мая. Начало сброса воды из канала

приурочивалось к последним числам июля, а полный сброс — к середине августа.

За первый год эксплуатации канала максимальный подъем уровня грунтовых вод за счет фильтрационных потерь составил 440 см [36]. Подъем грунтовых вод имел наибольший суточный прирост в скважинах, расположенных в непосредственной близости от канала, а наименьший — в скважинах, наиболее удаленных от него (табл. 4.15).

Таблица 4.15

Суточный прирост уровня грунтовых вод (см)
по Каменскому створу за 1979 г. (по А. М. Языкову)

Номер скважины	Расстояние от оси канала, м	Период работы канала			Начало сброса воды (26 VII — —14 VIII)	Полный сброс воды (14 VIII — 28 VIII)
		11 V — 7 VI	7 VI — 6 VII	6 VII — 26 VII		
1	700		0,93	—1,2	—3,16	0
2	550	2,44	0,30	—1,2	—3,26	—0,16
3	480	1,52	1,70	—0,65	—3,16	—0,47
4	340	2,37	1,10	0,05	—1,32	—0,74
5	280	1,10	1,67	0,15a	—0,95	—0,59
6	210	1,59	0,83	0,50	—0,79	—0,79
7	120	1,67	1,03	0,15	—0,26	—0,47
8	40	4,00	2,90	1,05	—3,20	—2,84
9	20	5,15	1,40	1,20	—5,30	—2,74
10	200	1,89	2,27	1,55	0,42	—0,59

Подъем уровня грунтовых вод вдоль Кулундинского канала, согласно наблюдениям, происходил постепенно от весны к лету, а интенсивность подъема уменьшалась от 5,15 до 1,4 см/сут по скважинам, расположенным соответственно в 20—40 м от канала [4]. Для скважин, расположенных в более отдаленном расстоянии (550—700 м), интенсивность подъема уровня грунтовых вод от весны к лету в несколько раз меньше, чем в приканальной зоне, и составляет от 2,44 (весной) до 0,3 см/сут (летом). Таким образом, по анализу суточного прироста и спада уровня грунтовых вод ширина зоны влияния канала оценивается в 700—800 м.

Согласно исследованиям Ю. Н. Акуленко и Н. И. Скирды, характер колебания уровней грунтовых вод неодинаков по всей длине канала и зависит в основном от литологии грунта под его дном, наличия или отсутствия противофильтрационного покрытия и напора воды в канале (табл. 4.16).

Наибольшая скорость подъема уровня грунтовых вод за счет фильтрационных потерь наблюдается на участках, где канал проходит в естественных грунтах без противофильтрационной защи-

ты [4]. Так, например, на участках ПК-115, ПК-185 и ПК-274 максимальный скачок уровня грунтовых вод от фильтрационных потерь в первый год заполнения канала (1978 г.) соответственно составил 3,60; 1,84 и 2,41 м. Максимальный подъем уровней грунтовых вод на участках, где канал имеет противофильтрационную защиту (ПК-220), составил всего лишь 0,77 м. Это повышение, как отмечает Ю. Н. Акуленко, обусловлено фильтрацией воды из канала в местах нарушения герметизации противофильтрационной полиэтиленовой пленки и подтока воды с незащищенных торцовых участков канала.

Таблица 4.16

Фильтрационные потери вдоль канала (по Ю. Н. Акуленко)

Номер створа	Расчетный интервал	Глубина залегания грунтовых вод от дна кана- ла, м	Коэф- фици- ент филт- рации грунта, м/сут	Время, необходи- мое для насыщения пород под дном канала, сутки	Объем во- ды, поте- рянный на насыщение грунта под дном кана- ла, м³	Фильтраци- онные по- тери (л/с) за период насыщения на 1 км	Средние (л/с) потери на растекание на 1 км
ПК-30	ПКО÷ПК35	3,5	0,05	0,76	7350	31,9	3,14
ПК-40	ПК35÷ПК74	2,4	0,05	0,44	5616	37,8	2,75
ПК-115	ПК74÷ПК133	0,4	0,05	0,05	1416	55,5	1,38
	ПК142÷ПК148	2,8	0,05	0,6	1008	32,0	3,09
ПК-274	ПК252÷ПК300	0,8	0,1	0,04	2304	139,0	7,92

Общий объем воды, потерянной на насыщение грунта под дном канала, возрастает с увеличением глубины залегания грунтовых вод (табл. 4.16). Время насыщения зоны аэрации (смыкание фильтрационного потока с грунтовыми водами) изменяется от 0,04 до 0,76 суток в зависимости от глубины залегания грунтовых вод под дном канала. Временные фильтрационные потери в первый год освоения в суглинистых грунтах (период насыщения) изменяются от 31,9 до 55,5 л/с на 1 км длины канала, а в пылеватых песках они увеличиваются до 139 л/с.

С течением времени при стабилизации подпора грунтовых вод фильтрационные потери вдоль Кулундинского канала резко сократились. Так, например, по нашим исследованиям (1982 г.), фильтрационные потери в период насыщения на участках ПК-30 и ПК-40 уменьшились в 2,5—3 раза по сравнению с 1978 г. и составили соответственно 13,5 и 12,5 л/с на 1 км длины канала. По-видимому, с годами фильтрационные потери будут еще уменьшаться в результате кольматации ложа канала и поэтому нет смысла устраивать противофильтрационные защиты (например, из пленки) вдоль всей трассы Кулундинского канала.

Решить вопросы комплексного использования водных и зе-

мельных ресурсов вдоль трассы Кулундинского канала, по мнению автора [135] и А. И. Игнатовича [76], можно при условии выполнения следующих мероприятий. В проектных решениях Ленгипроводхоза и Алтайгипроводхоза по оросительным системам на Златополинском и Новотроицком опытно-производственных массивах отсутствуют водоемы-накопители (бассейны суточного регулирования — БСР). Это обстоятельство резко осложняет эксплуатацию оросительных систем в острозасушливые годы, когда необходима одновременная работа всех дождевальных агрегатов на площади около 70 тыс. га (вместе с участками попутного орошения вдоль трассы канала). Строительством же БСР емкостью хотя бы 300 тыс. м³ на каждые 1000 га орошаемых земель сможет обеспечить некоторую автономность оросительных систем в период сбоя на распределительных каналах. Кроме того, водоемы-накопители (БСР) можно также использовать для рыбоводства, зоны отдыха и решения других социально-экономических задач.

Временные водотоки, замкнутые понижения и озера, расположенные вдоль трассы канала, тоже можно использовать в качестве водохранилищ. Здесь можно аккумулировать, по расчетам Д. С. Чуракова [76], до 150 млн. м³ воды, подаваемой каналом в ранневесенние и позднеосенние периоды без ущерба для опытно-производственных орошаемых массивов. По-видимому, имеет смысл также зарегулировать вдоль трассы Кулундинского канала местный сток, который, по нашим расчетам, здесь составляет свыше 300 млн. м³ (в средний по водности год), и использовать его для лиманного орошения на Приобском плато (Баевский, Благовещенский, Каменский, Панкрушихинский, Родинский и Тюменцевский районы Алтайского края) на общей площади до 100 тыс. га в год со стоком 25%-ной обеспеченности [133]. Оросительная норма при лиманном орошении средних суглинков может быть принята 2800—3000 м³/га.

Широкое развитие орошаемого земледелия вдоль трассы Кулундинского канала (Приобское плато и Центрально-Кулундинская аллювиальная равнина) невозможно без освоения засоленных почв (солонцов и солончаков), площадь которых составляет здесь около 800 тыс. га [76]. В 1977—1980 гг. сотрудники Алтайского филиала СибНИИГиМ проверили и внедрили рекомендации по технологии обработки солонцов лугопастбищных угодий на черноземах Баевского района Алтайского края на площади свыше 12 тыс. га, что дало экономический эффект в сумме 257 тыс. руб.

В настоящее время, когда Кулундинский канал находится еще в стадии строительства, стоит серьезно подумать об освоении засоленных земель вдоль трассы канала. Уже сейчас следует начать глубокие научные разработки технологии освоения солонцов и солончаков в зоне орошаемых массивов, обеспечивающих получение гарантированных урожаев многолетних и однолетних трав (донника, например) на сенокосах и пастбищах.

Предотвращение вторичного засоления (а иногда и заболачивания) орошаемых земель, особенно вдоль приканальной зоны (300—800 м от канала), представляет собой сложную комплексную систему мелиоративных, агротехнических и организационно-хозяйственных мероприятий с применением новейших методов и приемов орошаемого земледелия. Основная часть комплекса этих мероприятий — строительство разреженного или систематического дренажа (горизонтального, вертикального или комбинированного).

Таким образом, научные исследования орошения земель вдоль трассы Кулундинского канала должны идти в первую очередь по следующим основным направлениям: режим регулярного и лиманного орошения, технология полива, прогноз изменения гидрогеолого-мелиоративных условий на орошаемых и прилегающих землях, мероприятия по борьбе с вторичным засолением и заболачиванием, а также агротехника выращивания сельскохозяйственных культур на поливных землях.

4.11. Опыт внедрения в производство тепловодно-балансового метода

Анализ использования орошаемых земель в степной зоне на юге Западной Сибири (Алейская, Ишимская и Кулундинская степи) и на Южном Урале (Тоболо-Ишимское междуречье и степи Оренбуржья, например) показывает, что в хозяйствах, как правило, не соблюдается оптимальный режим поливов. Причинами этого являются не только недостаточно высокие уровни хозяйствования и эксплуатационной надежности оросительных систем, но и отсутствие достаточно надежных методов определения влажности почвогрунтов зоны аэрации.

В настоящее время существует целый ряд методов определения суммарного испарения с орошаемого поля, которые так или иначе нашли свое отражение как в отечественной [13, 15, 42, 46, 48, 52, 60, 69, 78, 89, 94, 115, 119, 150, 167, 168, 189, 195], так и в зарубежной литературе [210, 213, 220]. Основным недостатком большинства методик и методов определения влагообеспеченности растений является неучет влагообмена в зоне аэрации и очень важного источника увлажнения активного слоя почвы — подпитывания за счет грунтовых вод. Как правило, не учитывается и фильтрация влаги за пределы активного слоя почвы, а также поверхностный сток. Поэтому в степных и лесостепных районах, где фильтрационные потери и капиллярная влагопроводность довольно велики, существующие методики не дают сколько-нибудь удовлетворительного представления о влагообеспеченности сельскохозяйственных культур в конкретные сезоны и тем более в короткие засушливые периоды [52, 62, 131, 134].

Наиболее надежной оценкой влагообеспеченности сельскохозяйственных культур является расчет водного баланса корнеоби-

таемого (активного) слоя почвы, включая влагообмен с нижней частью зоны аэрации (почвогрунты — грунтовые воды) за сравнительно короткие интервалы времени (месяц, декада) с учетом теплового баланса подстилающей поверхности. Наиболее приемлем, по нашему мнению, в степной и лесостепной зонах Среднего региона (Западная Сибирь, Южный Урал, Северный и Центральный Казахстан) разработанный проф. С. И. Харченко (ГГИ) [189] тепловоднобалансовый метод определения режимов орошения, учитывающий весь комплекс перечисленных выше факторов, а также интенсивность влагообмена в зоне аэрации и теплообеспеченность орошаемой территории.

Преимуществом тепловоднобалансового метода является возможность определения норм и сроков поливов с достаточной для практики точностью в зависимости от текущих метеорологических условий и водного баланса расчетного слоя почвы при дефиците водных ресурсов. Метод позволяет определить реальное участие грунтовых вод в обеспечении влагой активного слоя почвы и оценить размеры подпитки грунтовых вод за счет просачивания атмосферных осадков и оросительной воды.

Тепловоднобалансовый метод снижает себестоимость и улучшает оперативность обслуживания орошаемых площадей. Он выдержал производственные испытания и показал свою результативность на орошаемых землях Ростовской, Волгоградской и Саратовской областей. Как указывает М. Г. Голченко [52], тепловоднобалансовый метод Харченко дал также положительные результаты при определении суммарного испарения в условиях Белоруссии — в зоне неустойчивого увлажнения.

В 1971—1973 гг. метод опробован в Оренбуржье (Илекская оросительная система), а в 1977—1982 гг. применен и дал положительные результаты в хозяйствах Челябинской области [62, 134]. В настоящее время тепловоднобалансовый метод Харченко проходит производственную проверку на вновь построенной Городищенской оросительной системе в Оренбуржье [61, 135].

С целью установления оптимального режима орошения кукурузы в условиях Оренбургской области в 1971—1973 гг. аспирантом Ф. П. Терентьевым [103] в производственных условиях колхоза «За мир» Илекского района исследовались* четыре варианта поливов:

I) при нижнем пороге влажности 70—75% НВ до фазы выметывания метелок и 75—80% НВ в другие фазы;

II) то же при влажности 75—80% НВ в течение всей вегетации;

III) то же при влажности 65—70% НВ;

IV) контроль без полива.

* Исследования по определению составляющих водного баланса при близком залегании грунтовых вод были проведены тепловоднобалансовым методом с учетом интенсивности влагообмена в активном слое почвы и теплообеспеченности опытного поля.

Поливы проводили с помощью дождевальных агрегатов ДДА-100М. Общая площадь поля, занятого кукурузой, 74 га.

Динамика влажности почвы и график поливов и осадков на варианте II при поливе кукурузы в острозасушливом 1972 г. представлен на рис. 4.6.

Водопотребление кукурузы сорта ВИР-42 рассчитывалось для двух слоев почвы (0—100 и 0—200 см) с тем, чтобы установить использование влаги растениями по всей глубине почвенного профиля (табл. 4.17). Наибольшее водопотребление, судя по данным табл. 4.17, наблюдалось на варианте II, т. е. при предполивном

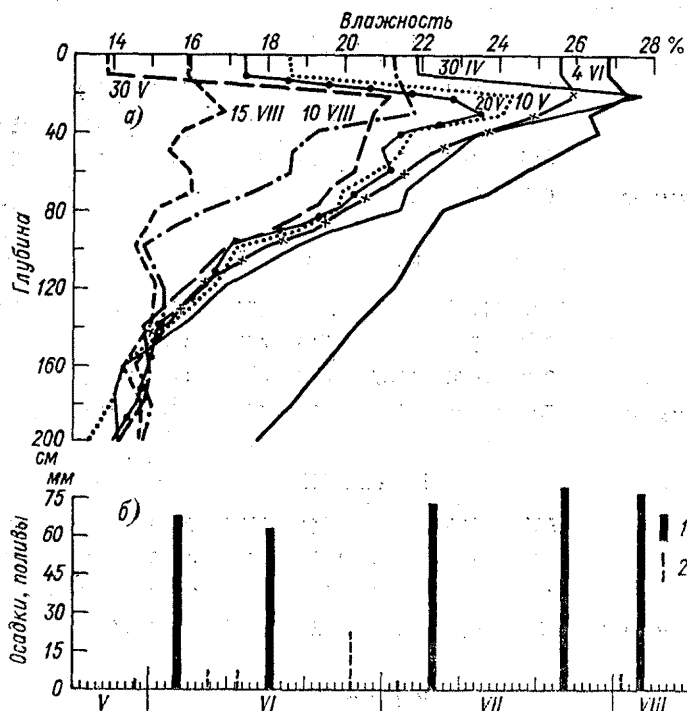


Рис. 4.6. Динамика влажности (а) и график поливов и осадков (б) на варианте II в 1972 г. в колхозе «За мир» Илекского района Оренбургской области.

1 — поливы, 2 — осадки.

пороге влажности 75—80% НВ в течение всего периода вегетации. В острозасушливом 1972 г. разница в суммарном водопотреблении по вариантам незначительна. Наименьшее суммарное водопотребление получено на контрольном варианте (богаре). Из табл. 4.17 также видно, что на орошаемых вариантах растения использовали влагу из второго метрового слоя почвы весьма незначительно (90—300 м³/га, что составляет около 2—6% суммарного водопотребления).

Таблица 4.17

**Элементы водопотребления и урожай кукурузы в Оренбуржье
(по Ф. П. Терентьеву)**

Год	Элементы водопотребления, м³/га				Суммарное водопотребление (м³/га) по слоям почвы, см		Урожай, т/га	Коэффициент водопотребления, м³/т	
	использование из почвы		эффективные осадки	орошительная норма (нетто)					
	0—100 см	0—200 см			0—100	0—200		0—100 см	0—200 см
Вариант I									
1971	937	1058	1083	2130	4150	4271	57,9	71,7	73,8
1972	804	1112	516	3141	4461	4769	51,9	86,0	91,9
1973	345	497	1557	2278	4180	4332	54,6	76,6	79,3
В среднем за 3 года	695	889	1052	2516	4262	4457	54,8	77,8	81,3
Вариант II									
1971	1037	1199	1083	2452	4572	4734	66,8	68,4	70,9
1972	703	788	516	3540	4759	4844	56,8	83,8	85,3
1973	379	476	1557	2617	4553	4650	61,7	73,8	75,4
В среднем за 3 года	706	821	1052	2870	4628	4743	61,8	74,9	76,7
Вариант III									
1971	830	919	1083	1944	3857	3946	50,7	76,1	77,8
1972	1268	1349	516	2935	4719	4800	41,9	112,6	114,6
1973	475	620	1557	1815	3847	3992	44,9	85,7	88,9
В среднем за 3 года	858	963	1052	2231	4141	4246	45,8	90,4	92,7
Вариант IV									
1971	1248	1514	1083	0	2331	2597	17,0	137,1	152,0
1972	1550	2148	516	0	2066	2664	8,4	246,1	317,0
1973	1035	1370	1557	0	2592	2927	18,3	141,6	159,9
В среднем за 3 года	1278	1677	1052	0	2330	2729	14,6	159,6	186,9

Среднесуточный расход влаги в период образования листьев, по данным Ф. П. Терентьева, составлял 30—32 м³/га, причем в основном влага расходовалась на испарение с поверхности почвы. Поэтому одним из основных приемов агротехники в ранний период выращивания кукурузы на силос в условиях Оренбуржья является рыхление, которое направлено на уменьшение

физического испарения. Максимальное среднесуточное водопотребление на орошаемых вариантах наблюдалось в период выметывание метелок — потемнение нитей початков. В этот период почва должна быть обеспечена влагой на всю глубину активного слоя (100 см).

Для получения урожая порядка 60—70 т/га при высоком агрофоне оптимальным режимом орошения кукурузы на силос следует считать поливы при нижнем пороге увлажнения 75—80% НВ. При этом в острозасушливые годы требуется проведение не менее пяти поливов с поливной нормой 600—750 м³/га в следующие фазы развития растений: первый полив при 5—7 листьях, второй — при 9—11, третий — при 17—19, четвертый и пятый — в фазы выметывания метелок и потемнения нитей початков.

Применение на практике тепловоднобалансового метода определения поливного режима в засушливом Оренбуржье на орошаемом поле кукурузы дало прибавку урожая до 40%. При этом наблюдается экономия оросительной воды (до 25—30% водозабора на Илекской оросительной системе).

Как уже отмечалось выше, на Челябинской опытно-мелиоративной станции (ОМС) УралНИИВХа (А. А. Дерингер) при разработке методики оперативного назначения норм и сроков поливов для зоны Южного Урала (Челябинская область) также был принят за основу тепловоднобалансовый метод С. И. Харченко. Основные расчетные элементы и параметры метода получены по результатам воднобалансовых и теплобалансовых исследований на орошаемых полях Челябинской области в 1977—1982 гг. (исследования были проведены А. А. Дерингером и Н. В. Кривенко под руководством и при участии автора). Кратко остановимся на некоторых результатах этих исследований, в частности, на методических и организационных моментах внедрения тепловоднобалансового метода в масштабах Челябинской области [62, 134]. Опыт производственных обследований Челябинской ОМС показал, что ни в одном из хозяйств области, имеющих орошаемые угодья, подобных измерений и расчетов не проводят. Поэтому главной целью работы, как отмечает А. А. Дерингер, являлось создание и отработка системы гидрометеорологического обеспечения орошаемого земледелия области. Для этого на первом этапе необходимо создание информационно-советующей службы, а в перспективе — службы, регламентирующей всю технологию орошения земель на основе современной вычислительной техники и современных методов управления сложными технологическими процессами.

Непосредственно обеспечение орошаемого земледелия гидрометеорологической информацией (по А. А. Дерингеру) проходило следующим образом.

1. На ОМС была разработана методика (набор инструктивных и расчетных материалов) использования гидрометеорологической информации для расчетов планов водопользования, сроков и норм поливов. Методика была передана в отдел агромете-

орологического обслуживания сельского хозяйства Челябинской гидрометеорологической обсерватории (ГМО).

2. Сотрудники ОМС совместно с сотрудниками Челябинской ГМО рассчитывали режим водопользования на орошаемых землях, используя рекомендации ОМС и гидрометеорологические данные метеостанций и метеопостов области.

3. Расчеты режимов водопользования сопровождалось краткими комментариями и публиковались в агрометеорологических бюллетенях под рубрикой «Внимание мелиораторов!» Бюллетени рассылались областным руководящим органам, в совхозы и колхозы области.

4. Параллельно в день выдачи консультаций по поливу материалы передавались в радиоцентр управления сельского хозяйства для дальнейшей передачи в районные управления и через них в совхозы и колхозы области.

Всего за вегетационный период 1981 г. было выдано 13 консультаций по поливу. По итогам каждого месяца на ОМС составлялся анализ водопользования на орошаемых землях (всего было выдано 4 анализа), который представлялся в областные руководящие органы.

Инструкция для расчетов режимов орошения была разработана на ОМС по результатам опытных работ на орошаемых землях области и прошла производственную проверку. Расчеты режимов орошения и соответственно консультации по поливу давались для четырех зон области согласно районированию области по режиму орошения, выполненному на ОМС. Для каждой зоны области рассчитывался прогноз атмосферных осадков и температуры воздуха на последующую календарную декаду. Прогнозы рассчитывались на основе среднесезонных значений этих параметров и консультаций областного бюро погоды. Затем по специальным разработкам рассчитывались прогнозы декадных оросительных норм по каждой зоне. Данные об этих нормах публиковались в консультациях и служили ориентиром для планирования поливов в хозяйствах. Кроме того, в консультациях имелись данные о фактических (рассчитанных по фактической погоде) оросительных нормах, суммированных нарастающим итогом с начала поливного сезона до даты выхода каждого прогноза. Эти нормы служили для сопоставления их с нормами поливов, фактически проведенных в хозяйствах, а значит, для корректировки режимов орошения и для оценки возможного снижения урожайности в случае, если эти нормы не совпадали.

Затем был проведен анализ водопользования, основу которого составляло сравнение оптимальных оросительных норм, рекомендованных хозяйствам области, и хода поливов по статистическим отчетам хозяйств области (статистическая форма 30-СХ). В форме 30-СХ помещены сведения о «гектаро-поливах», что недостаточно для объективного анализа, так как при этом неизвестна разовая (поливная) норма. Однако опыт ОМС по хронометражу поливов в хозяйствах области, а также технологиче-

ские характеристики применяемых в области дождевальных агрегатов показывают, что разовая (поливная) норма составляет в среднем 250 м³/га (на это значение ориентируются, как правило, и производители). Для анализа А. А. Дерингером принято 300 м³/га. Средняя районная оросительная норма рассчитывалась в кубических метрах на 1 га путем умножения «гектарополивов» на 300 м³/га и деления полученного результата на площадь посева в гектарах.

По разности оптимальной и фактической норм по специальной инструкции, опубликованной в агрометбюллетене за март 1981 г., определялся коэффициент пересчета максимальной урожайности в урожайность, на которую хозяйство (район) могли рассчитывать в случае отставания с поливами или, наоборот, при переполиве. В задачу работ на 1981 г. не входило выявление потенциальных агроклиматических и хозяйственных ресурсов каждого конкретного района или конкретной оросительной системы, поэтому за максимальную среднюю районную урожайность, на которую рассчитывался поливной режим, была принята урожайность 7 т сена с 1 га.

Анализ водопользования проводился помесечно. В преобладающем большинстве районов уровень водопользования возрастал на протяжении всего поливного периода и в июле, например, существенно превышал майский уровень, что еще раз подтверждает потенциальные возможности регулярного орошения в области и, с другой стороны, свидетельствует о крайне слабой подготовке оросительных систем к началу поливного сезона. В 1981 г. именно майский влагозарядковый полив и определил конечный урожай, так как на него влияет не столько сама суммарная реализованная оросительная норма, сколько рациональное распределение поливов по периоду вегетации растений с тем, чтобы они получали воду в те фазы, когда прирост биомассы наиболее интенсивен.

Для оценки использования консультаций по поливу на ОМС была подготовлена специальная анкета, которая была разослана затем руководителям 200 хозяйств области.

Основная трудность анализа экономической эффективности организационных мероприятий при орошении заключается в том, что необходимо выделить не весь эффект от орошения в конкретный год, а только ту его часть, которая получена благодаря изменениям в сфере управления орошением. Для анализа экономической эффективности использовалась следующая схема.

1. Для каждого района области выбирался один год из последних пяти лет (1976—1980) с аналогичными условиями погоды. Тождественность лет-аналогов определялась по оптимальной оросительной норме (основной показатель) и по соотношению осадков и средней за летний сезон температуры воздуха.

2. Для года-аналога и оцениваемого года (года проведения организационного мероприятия) вычислялась эффективность

орошения в натуральных показателях: прибавка урожая от орошения (т/га) по сравнению с урожаем на неорошаемых угодьях.

3. Эффективность данного мероприятия в натуральном выражении определялась как разница эффективности орошения в оцениваемый год и в год-аналог, т. е. как приращение эффективности орошения в аналогичных погодных условиях после проведения организационного мероприятия.

4. Эффективность мероприятия в денежном выражении оценивалась исходя из закупочных цен на сельскохозяйственную продукцию и затрат на проведение данного мероприятия.

Более тонкий анализ можно было бы провести, используя данные по себестоимости продукции, однако такая информация поступает только в марте следующего года и выражается в средних цифрах по районным управлениям сельского хозяйства и специализированным трестам, поэтому она не может в настоящее время использоваться для оперативного анализа и планирования организационных мероприятий.

Расчет экономической эффективности по вышеуказанной схеме проводился на ЭВМ «Наири-2». Применение вычислительной техники значительно ускорило расчеты, гарантировало объективность результатов и позволило не только получить дополнительную информацию, но и проанализировать качество исходных данных.

Анализируя опыт Челябинской ОМС по внедрению тепловоднобалансового метода, следует рассматривать его как первый этап организации и развития системы управления орошением на уровне области, районов и конкретных хозяйств. Последующие этапы должны обеспечить подготовку и переход отдельных хозяйственных звеньев к планированию, проектированию и управлению орошаемым земледелием на основе единой автоматизированной системы управления подобно той, которая была создана в отделе мелиоративной гидрологии ГГИ для условий Среднего Заволжья [161].

В заключение следует отметить, что тепловоднобалансовый метод целесообразно применять совместно с обычными методами определения норм и сроков поливов. Порядок разработки поливных режимов может быть таким [189]: сначала сроки и нормы поливов рассчитываются по тепловоднобалансовому методу, затем они выборочно проверяются непосредственно в поле и сравниваются с нормами и сроками поливов по термостатно-весовому методу, подобно тому как это было выполнено автором [135] и Ф. П. Терентьевым [103] в Оренбуржье.

В настоящее время Госкомгидромет и Минводхоз СССР проводят работу по организации воднобалансовых станций на орошаемых землях во всех зонах страны. Основная задача этих станций сводится к изучению элементов водного, теплового и водно-солевого балансов. Поэтому есть все возможности для широкого применения и усовершенствования тепловоднобалансового метода.

4.12. Агроэкономический аспект развития орошаемого земледелия в степной и лесостепной зонах

В степной и лесостепной зонах юга Западной Сибири, Северного Казахстана и Южного Урала, где основная часть пахотных угодий (65—80% и более) занята зерновыми (колосовыми) культурами, большое значение приобретают вопросы наиболее целесообразного сочетания орошаемого и богарного земледелия, с одной стороны, и наиболее экономного использования в сельском хозяйстве ограниченных и дефицитных водных ресурсов, с другой. Это необходимо также еще и потому, что в настоящее время при оазисном (локальном) орошении довольно часто имеет место неэкономное, а порою и расточительное расходование поливной воды (например, на мелких орошаемых участках в Центральной Кулунде).

В хозяйствах степных и лесостепных районов Среднего региона, расположенных в зонах неустойчивого и недостаточного увлажнения, потребность в дополнительном увлажнении может практически возникнуть в любой период вегетации.

С сельскохозяйственной точки зрения, как правильно отмечает Д. Т. Зузик [73], наиболее целесообразным было бы не стационарное орошение отдельных участков, а подвижное орошение на местном стоке с подачей воды для полива тех площадей и тех культур, которые в тот или иной период больше всего нуждаются в поливах и от которых возможно получить наибольший выход дополнительных кормов на каждый затраченный кубометр оросительной воды. По материалам наших исследований в Ключевском, Кулундинском, Михайловском, Славгородском и Табунском районах Алтайского края (Центральная Кулунда) выяснилось, что такой подход к освоению малых оросительных систем при использовании подземных вод рентабелен (табл. 4.18) и позволяет ежегодно экономить 15—20% поливной воды, сократить затраты труда и повысить в 1,5—1,7 раза производительность труда рабочих, занятых на поливе. Более высоких показателей добиваются передовики производства. Примером могут служить экономические показатели звена А. И. Фишера (табл. 4.19).

В колхозе им. Ленина Славгородского района Алтайского края в настоящее время поливается 634 га, что составляет менее 5% пашни хозяйства, а производится на них 100% овощей, ягод и картофеля. В 1979 г. производство кормов на поливе достигло 52,7% потребного для общественного скота и скота, находящегося в личном пользовании колхозников [74]. Улучшение кормовой базы способствовало росту продуктивности животных. Надой на корову выросли до 3000 л против 2586 л в 1976 г., растут и среднесуточные привесы молодняка крупного рогатого скота.

Как видно из табл. 4.19, за счет высокой урожайности, превышающей плановую на 40,7%, себестоимость 1 т корм. ед. на 29 руб. ниже плановой.

На основе многолетних исследований автора по проблеме

Таблица 4.18

**Рост орошаемых площадей и урожайности в колхозе им. Ленина
Славгородского района Алтайского края (по А. В. Иванову)**

Основные показатели	1975 г.	1976 г.	1977 г.	1978 г.	1979 г.
Площадь орошаемых земель, га	477	477	605	605	634
Удельный вес продукции с орошаемых земель, %	9,6	11,3	11,7	14,1	15,4
Многолетние травы					
На поливе					
производство сена, тыс. т	1,16	2,26	1,92	2,15	2,42
урожай, т/га	4,69	6,13	6,74	8,44	8,56
На богаре					
производство сена, тыс. т	0,45	—	0,03	0,28	0,31
урожай, т/га	0,52	—	0,27	0,44	0,57
Кукуруза					
На поливе					
производство зеленой массы, тыс. т	—	0,56	1,14	4,04	5,91
урожай, т/га	—	31,7	45,6	39,3	34,7
На богаре					
производство, тыс. т	—	7,99	14,8	12,5	9,4
урожай, т/га	—	8,3	11,4	10,4	11,2

орошения Кулундинской степи и обобщения опыта передовых хозяйств по развитию орошаемого земледелия в степной и лесостепной зонах Среднего региона можно сделать следующие общие выводы:

— на первой стадии освоения Кулундинской степи (до 1985—1990 гг.), т. е. до введения в эксплуатацию крупных оросительных систем из р. Оби, следует широко внедрять лиманное орошение на местном стоке и использовать для регулярного орошения подземные воды, местные реки, пресные озера, а также строить небольшие оросительные системы на основе Новосибирского водохранилища. Площадь орошаемых участков (при регулярном орошении) в этом случае ориентировочно может состав-

лять 400—600 га на хозяйство (участки гарантированного урожая и страхового запаса кормов);

— на второй стадии освоения орошаемых земель в Кулундинской степи (1990—2000 гг.) после постройки крупных оросительных систем из р. Оби целесообразно, по нашему мнению, организовать специализированные совхозы с массивами орошения 4000—6000 га в каждом. Это позволит легче наладить управление, автоматизацию и телемеханизацию на оросительных системах;

Таблица 4.19

Экономические показатели работы звена А. И. Фишера в 1978 г.

Показатели	План	Фактически	%
Численность работающих, чел.	4	4	100
Среднегодовая численность работающих, чел.	1,67	1,67	100
Производство валовой продукции в сопоставимых ценах 1973 г., руб.	50218	74213	148
Производство валовой продукции на одного среднегодового работника, руб.	30071	44439	148
Получено кормовых единиц с 1 га орошаемых земель, т	3,06	4,30	14,05
Себестоимость 1 т корм. ед., руб.			
сена	57	46,1	—
зеленой массы	—	7,8	—

— в степной и лесостепной зонах Срединного региона на слабодренированных территориях и на слабосодоустойчивых почвах следует рекомендовать в среднесухие и острозасушливые годы дополнительное увлажнение зерновых культур малыми поливными нормами с помощью дождевания для увлажнения верхнего полуметрового слоя почвы. Полив следует осуществлять в критические фазы вегетации (III—IV и V—IX этапы органогенеза), что дает прибавку урожая в размере 1—2 т/га;

— при дальнейшей разработке вопросов экономики орошаемого земледелия применительно к условиям степной зоны следует широко пользоваться экономико-математическими методами с применением современных ЭВМ [156]. Математические методы позволяют более качественно определять такие важные экономические характеристики, как дополнительный чистый доход (ДЧД) от орошения, структуру посевных площадей, организацию поливов, а также выяснить влияние тех или иных факторов. Результаты численного расчета для разных вариантов послужат для глубокого качественного анализа и для более обоснованных рекомендаций для практического внедрения в производство.

Основной эффект оазисного подвижного орошения состоит в увеличении степени полезного использования водных ресурсов

и эксплуатационных возможностей оросительной системы, что может быть проиллюстрировано табл. 4.20, заимствованной из работы [73].

Таблица 4.20

Использование водных ресурсов * при различных уровнях расчетной обеспеченности (по осадкам) за 20-летний период (по Д. Т. Зузику)

Показатели	Обеспеченность, %				
	95	75	50	25	5
Использование воды для поливов на установленных площадях, млн. м ³	80	95	111	118	120
Дополнительное использование воды по сравнению с годом 95%-й обеспеченности, млн. м ³	0	15	31	38	40
Степень использования ресурсов воды, %	67	79	93	98	100
Единовременные капитальные вложения на всю площадь орошения, млн. руб.	6,0	6,2	6,5	7,0	8,0
В том числе дополнительное использование воды (дополнительные площади орошения), млн. руб.	0	0,2	0,5	1,0	2,0
Количество используемой воды, приходящейся на 1 руб. капитальных вложений, м ³ /руб.	13	15	17	17	15
Количество дополнительно используемой воды, приходящейся на 1 руб. дополнительных капитальных вложений, м ³ /руб.	—	75	62	38	20

* Ресурсы воды (млн. м³) в хозяйствах за 20-летний период при годовом водозаборе 6 млн. м³ составляют 120 млн. м³.

Таким образом, существующее положение о разработке проектов орошения в степной и лесостепной зонах с применением 95%-й или 85%-й расчетной обеспеченности приводит к большому (до 40—50%) недоиспользованию водных ресурсов и резкому снижению эффективности орошения. Поэтому необходимо разработать и осуществить на практике новое положение об установлении для каждой оросительной системы экономически обоснованного уровня расчетной обеспеченности по условиям естественного увлажнения взамен устаревшего положения о единой расчетной обеспеченности [72].

На современном этапе развития промышленности и сельского хозяйства водные ресурсы необходимо использовать комплексно.

Создание на реках водохранилищ позволит регулировать водохозяйственный баланс и, следовательно, снижать половодье и паводки. Весьма важно оно и с точки зрения охраны водных ресурсов, так как этим приемом удастся достичь более рационального распределения воды между потребителями. Помимо этого, возрастание стока малых и средних рек в меженный период увеличивает кратность разбавления сточных вод и этим существенно оздоравливает речные и озерные воды.

К настоящему времени более или менее достаточно изучено влияние орошения на те или иные компоненты природной среды. На основе обобщения многочисленных исследований [47, 83, 88, 118, 131, 135, 160, 189] в табл. 4.21 показаны основные процессы,

Таблица 4.21

Типизация основных процессов, развивающихся в связи с освоением крупных орошаемых массивов в условиях степной и лесостепной зон Среднего региона СССР

Зона воздействия при орошении	Основные процессы, развивающиеся под влиянием орошения	Вероятные направления и последствия развивающихся процессов
Поверхностный слой почвы и зона аэрации	1. Ирригационная эрозия почвогрунтов	Поверхностный смыв и снижение естественного плодородия почвы Оглинение, осолонцевание и уплотнение почвы, образование твердой корки. Резкое снижение водопроницаемости почвогрунтов. Усиление влагообмена и физического испарения
	2. Изменение водно-физических, мелиоративных и агрогидрологических свойств почвогрунтов	
	3. Изменение степени и типа засоления почвогрунтов:	
Зона грунтовых вод (первый от поверхности водоносный горизонт)	а) рассоление (при естественном или искусственном дренаже) б) засоление (на бессточных и недренированных территориях) в) изменение поглощающего комплекса	Вынос солей за пределы территории
	Изменение водно-солевого баланса	Подтягивание солей к поверхности, образование солончаков и солонцеватых почв
		Увеличение емкости обмена оснований (поглощенного натрия за счет кальция и магния). Резкое увеличение инфильтрационного питания и суммарного испарения. При отсутствии дренажа может произойти вторичное засоление и заболачивание территории

развивающиеся под влиянием орошения, вероятные их направления и последствия.

С созданием водохранилищ возникает совершенно новый вид ландшафта — мелководья. На некоторых водохранилищах мелководья с глубинами до 2 м занимают до 10—20% площади акваторий. Многие из этих участков в настоящее время, как правило, не только не используются, но и зачастую приносят вред народному хозяйству (дополнительные потери на испарение при зарастании камышом, выплод кровососущих насекомых и т. д.). Между тем рациональное использование мелководий может иметь большое значение для повышения экономической эффективности комплексного использования водохранилищ. Мелководные участки водохранилищ могут широко использоваться для выращивания водных кормовых растений, разведения водоплавающей птицы, организации рыбоводных ферм, звероводческих хозяйств, как аккумуляторы запасов воды в интересах гидроэнергетики, водного транспорта, водоснабжения, для организации баз отдыха и спорта.

Весьма эффективно использование мелководий для выращивания различных полезных водных растений: дикого риса, тростника, камыша и др. Среди кормовых растений, пригодных к выращиванию на мелководных водохранилищах, наибольший интерес представляет дикий рис (цицания), принадлежащий к семейству злаковых и дающий высокие урожаи зеленой массы. Зерно дикого риса и молодые побеги являются питательным кормом для водоплавающей птицы, а зеленая масса и сухие стебли поедаются нутрией и ондатрой и могут идти на корм крупному рогатому скоту. Хорошо растет дикий рис на илистых грунтах в пресных, слабопроточных и хорошо прогреваемых водоемах, на участках, где отсутствует волноприбой. Положительный опыт по выращиванию дикого риса на корм скоту имеется, например, на мелководьях Новосибирского водохранилища [11, 23].

Для улучшения водного баланса и охраны водных ресурсов озер и увеличения возможного водосбора из них автор рекомендует при проведении инженерных мероприятий увеличивать водосборные площади посредством осушения смежных озер или канализации водосборной площади, т. е. коренным образом изменять водный режим почвогрунтов зоны аэрации на водосборе. Эффективность таких мероприятий определяется водохозяйственным расчетом, исходя из изменения водного баланса мелиорируемых озер. В таких расчетах наибольшую трудность представляет определение поверхностного притока воды к озерам за весеннее половодье.

Пресные озера в естественном состоянии в летний период частично, а иногда и полностью зарастают камышом и другими влаголюбивыми растениями. На многих озерах в настоящее время наблюдаются болотообразовательные процессы. Для коренного изменения водного баланса на водосборах пресных и соленых озер необходимы комплексные агротехнические и гидротехниче-

ские мелиорации, работы по регулированию стока снеговых вод [131, 133].

Вопросы рационального использования и охраны водных ресурсов принадлежат к числу важнейших проблем современности. Это объясняется в основном быстрым ростом потребности в пресной воде как населения, так и всего народного хозяйства. Интенсификация использования водных ресурсов рек и озер, а в связи с этим резкое изменение их естественного режима требуют все большего внимания к охране и комплексному использованию природных ресурсов.

Выводы

1. В степной засушливой зоне юга Западной Сибири, Северного Казахстана и Южного Урала с уменьшением площади водосбора удельная величина весеннего стока возрастает, что является следствием перераспределения снегозапасов и испарения по мере перехода от больших площадей к малым. С уменьшением площади водосбора возрастает густота гидрографической сети, главным образом за счет временных водотоков, что также способствует накоплению снега в руслах.

2. На территории Обь-Иртышского междуречья необходимо использовать для орошения как поверхностные, так и подземные воды. Здесь откачки подземных вод будут играть роль регулятора уровня грунтовых вод (первый и второй водоносные горизонты взаимосвязаны) и предотвращать вторичное засоление на крупных орошаемых массивах.

3. Поливные воды являются основной статьей прихода водного баланса орошаемых каштановых почв (от 52% в сравнительно благоприятные по увлажнению годы до 75% — в засушливые годы). Доля участия атмосферных осадков и продуктивных запасов почвенной влаги в снабжении растений водой небольшая и составляет суммарно от 25% в засушливые до 48% в средние по водности годы.

4. Неправомерно считать бесполезными осадки, задерживающиеся на листьях и стеблях растений. Пренебрежение малыми осадками (менее 5 мм) приводит к завышению поливных и оросительных норм на 10—15% и более, что и является одной из основных причин подъема уровня грунтовых вод на орошаемых массивах.

5. На открытых оросительных системах происходит резкое сокращение весеннего стока, а на закрытых — сток с орошаемых площадей больше, чем на неорошаемых.

6. Учет изменчивости оросительных норм при сезонном регулировании позволяет более рационально использовать характеристики стока и при неизменной обеспеченности увеличить водоотдачу водохранилища (на 30—40% и более).

7. На земледельческих полях орошения (ЗПО) на супесчаных

и легкосуглинистых черноземах в условиях степного Оренбуржья целесообразно выращивать в первую очередь люцерну и кукурузу на корма. При использовании сточных вод газовой промышленности на ЗПО на тяжелых суглинках происходит осолонцевание верхнего метрового горизонта.

8. Тепловоднобалансовый метод, разработанный в ГГИ, позволяет определить реальное участие грунтовых вод во влагообеспечении активного слоя почвы, снижает себестоимость и улучшает оперативность обслуживания орошаемых площадей.

9. Существующее положение о разработке проектов орошения в степной и лесостепной зонах на основе единого норматива расчетной обеспеченности приводит к большому недоиспользованию водных ресурсов и резкому снижению эффективности орошения.

10. Необходимость регулярного орошения в степной зоне Среднего региона СССР бесспорна. Высокопродуктивное и устойчивое сельскохозяйственное производство здесь может быть создано лишь с помощью искусственного орошения в сочетании с другими мероприятиями по повышению обеспеченности растений влагой: снегозадержанием, устройством лесных полос, специальными приемами обработки почвы и др.

Глава 5. ВОДНО-СОЛЕВОЙ БАЛАНС ОРОШАЕМЫХ ЗЕМЕЛЬ

5.1. Общие положения

Одной из основных проблем орошаемых территорий является изучение водно-солевого режима почвогрунтов зоны аэрации. Этот вопрос имеет исключительно важное как практическое, так и теоретическое значение, ему посвящено много публикаций, усиленно ведутся научно-исследовательские работы. Такое внимание вполне закономерно, так как в настоящее время на земном шаре засоленные земли составляют десятки миллионов гектаров. В Советском Союзе около 30—40% орошаемых и более половины намеченных к освоению в ближайшей перспективе почв засолены или склонны к засолению. В связи с этим особую актуальность имеет в настоящее время проблема количественного описания процессов засоления и их прогнозирования [2, 3, 68]. Однако следует отметить, что теоретические основы и методика долгосрочного прогноза водно-солевого режима как староорошаемых, так, что особенно важно, новоорошаемых земель — одного из основных разделов мелиоративной гидрологии — разработаны еще недостаточно [176].

В настоящее время используется несколько методов прогноза

засоления почв: метод аналогий, метод водного баланса и аналитические методы [189].

Метод аналогий заключается в том, что характеристики проектируемых под орошение массивов сопоставляются при разных условиях с таковыми для староорошаемых массивов и на основе совпадения их делается заключение о вероятности засоления почв. В связи с тем, что на засоление почв влияет целый ряд факторов, которые порой трудно учесть и количественно оценить, метод аналогий применяется весьма ограниченно. Существенным недостатком метода аналогий является также и то, что он позволяет наметить только общие черты изменения природных условий объектов мелиорации.

Метод водного баланса является традиционным и очень широко используется, хотя также имеет целый ряд существенных недостатков. Основой этого метода является количественный учет воды и растворенных в ней солей, т. е. соотношение между приходными и расходными элементами водного баланса. Хотя метод водного или водно-солевого баланса применительно к солевым прогнозам почв и относится к разряду расчетных методов, но точность его в ряде практических приложений все еще довольно низка. Следует отметить, что этот метод позволяет прогнозировать только суммарное изменение солей в почвах, грунтах и грунтовых водах.

Аналитические методы прогноза засоления почв основаны на использовании уравнений конвективной диффузии для конкретных расчетных схем. С помощью этих методов прогнозируются качественные изменения содержания солей в отдельных горизонтах зоны аэрации и грунтовых вод. Большое развитие аналитические методы прогноза засоления почв и грунтовых вод получили в последнее время в публикациях С. Ф. Аверьянова [2], В. А. Барона и Л. М. Рёкса [157], основанных на теоретических разработках Н. Н. Веригина и Л. С. Лейбензона [189]. Применение аналитических методов сопряжено с определенными трудностями и имеет ряд ограничений. Объясняется это прежде всего тем, что процессы растворения и миграции солей весьма сложны, и для описания их необходимо использовать довольно сложный математический аппарат, а также определить ряд дополнительных физико-химических констант. Недостатком существующих аналитических методов прогноза засоления почв, как отмечает И. А. Канн [188], является и то, что они применимы только для довольно простых по природным условиям объектов мелиорации.

Уравнения большинства авторов, применявших балансовые методы [2, 68, 83, 88, 176], учитывают элементы солевого баланса не только для частных случаев. С. И. Харченко в своей монографии [189] считает необходимым использовать более общие уравнения водно-солевого баланса с дифференциацией их по слоям: для слоя за, от поверхности почвы до водоупора, для зоны аэрации, а также для водоносного слоя. Он приводит следующие уравнения водно-солевого баланса:

канал и внутрихозяйственные распреде...
покрытие. Это позволило существенно повысить К_{плд}...
и улучшить почвенно-мелиоративные условия орошаемого мас-
сива.

Полив проводится дождевальными машинами ДДА-100М из временных оросителей. Почвенно-мелиоративные условия на участке благоприятны для орошения. Почвы опытного орошаемого участка представлены южными черноземами (террасовыми) средне- и тяжелосуглинистыми, среднесиловыми на желто-бурых делювиальных суглинках. Тяжелосуглинистые почвы занимают 75% всей площади участка. Почвообразующими породами являются средние и тяжелые суглинки. Коренные породы всей левобережной террасы р. Урал — слоистые суглинки и глины пермско-триасового возраста. В песчано-гравийно-галечных отложениях заключен грунтовый поток, связанный по питанию и местами по разгрузке с р. Урал [177]. Почвы участка в почвогрунты зоны аэрации незасолены. Грунтовые воды до орошения (1967 г.) залежали на глубине 14 м, в настоящее время они находятся на глубине 8—12 м, их минерализация составляет 0,2—1 г/л.

На Илекской оросительной системе изучались процессы вторичного засоления почв оросительными водами с повышающейся минерализацией к концу поливного периода при незасоленном профиле почвогрунтов зоны аэрации в условиях глубокого залегания грунтовых вод (глубже 9 м). Исследования проводили балансовым методом, он позволяет выяснить изменения, происходящие в слоях почвы и грунтов как за короткий, так и за длительные периоды. Сравнивая данные о содержании солей в почвах полученные М. И. Степановой на рассматриваемом участке в 1971 г., и результаты наших определений балансовым методом состава и количества солей на этом же участке в 1977 г., можно заключить, что в почве идет процесс накопления солей*. Анализируя табл. 5.1, необходимо отметить, что увеличение содержания солей наблюдается по всему профилю почвы. В двухметровом слое почвы содержание общего количества солей увеличилось с 5,5 до 25,02 т/га. Приход легкорастворимых солей составил 19,52 т/га. Хотя содержание солей в почве увеличивается по всему профилю, все же максимальное их количество отмечено в слое 100—150 см.

Изучение водно-солевого режима на Илекской оросительной системе позволяет сделать вывод о накоплении солей в почвогрунтах при глубоком залегании грунтовых вод и о содержании солей в почвогрунтах зоны аэрации. Источники накопления солей в почве являются минерализованные поливные воды.

Городищенская оросительная система располагается на пойменных террасах I и II р. Урал в среднем ее течении.

* Расчеты водно-солевого баланса выполнены совместно с В. Н. Выхом [135].

площадь системы составляет 2800 га. Расположена эта система сплошным вытянутым контуром вдоль р. Урал и вводилась в эксплуатацию участками в течение 1977—1978 гг. Для целей орошения используется пресная вода р. Урал. Основными культурами, выращиваемыми на системе, являются кормовые — кукуруза, подсолнечник, люцерна.

Таблица 5.1

Солевой баланс чернозема южного террасового на Илекской оросительной системе за 1971—1977 гг. (по В. Н. Федорову)

Глубина, см	Содержание солей в 1971 г., т/га	Глубина, см	Содержание солей в 1977 г., т/га
0—30	1,9	0—10	1,12
30—60	0,6	10—30	1,92
60—70	0,6	30—50	2,17
90—130	0,7	50—75	2,70
130—160	0,8	75—100	3,36
160—200	0,9	100—120	2,26
0—200	5,5	120—150	4,26
		150—170	2,42
		170—200	3,81
		0—200	25,02
Баланс	—		+19,52

Оросительная сеть — комбинированная с механической подачей воды. Для рациональной эксплуатации системы построены два бассейна суточного регулирования, вода в них подается от насосной станции по закрытому магистральному трубопроводу. Межхозяйственные, хозяйственные и внутрихозяйственные распределители представлены каналами в бетонном покрытии. Полив проводится дождевальными машинами ДДА-100М из временных оросительных каналов.

Физико-географические, геологические и почвенные условия в целом благоприятны для орошения. Поверхность участка сравнительно ровная, с небольшим уклоном к р. Урал (к северу), местами прорезана неглубокими логами, непригодными для земледользования. Участок имеет превышение над уровнем р. Урал до 20—25 м в 0,5—3 км от русла. Данные Оренбургского филиала института «Росгипроводхоз» и наши обследования участка показывают, что на большей части участка почвенный покров представлен черноземами южными террасовыми средне- и маломощными малогумусными карбонатными, различного механического состава: средне- и тяжелосуглинистого, глинистого. Террасовые черноземы отличаются очень сильной перерытостью

профиля различными животными — землероями, что определяет основные физико-химические и морфологические признаки этих почв.

Почвообразующие породы представлены аллювиальными четвертичными суглинками, подстилаемыми с 8—10 м супесями и среднезернистыми песками. С глубины 17—30 м аллювий вытесняется зеленовато-голубоватыми глинами с прослойками красного песчаника пермско-триасового и чаще всего пермского возраста. Почвообразующие породы различны: от незасоленных до сильнозасоленных, засоление преимущественно сульфатное, редко сульфатно-хлоридное. Грунтовые воды залегают на глубине 9—14 м.

С целью уточнения распространения засоленных почв на территории оросительной системы Оренбургским филиалом института «Росгипроводхоз» при участии В. Н. Федорова была проведена солевая съемка на площади 220 га глубиной до 3 м. В результате этого и дальнейших исследований было выявлено, что почти половина обследованной площади занята черноземами, у которых с метровой глубины залегает солевой горизонт. Засоление активного корнеобитаемого слоя до этой глубины отсутствует и обнаруживается лишь в практически незатронутой почвообразовательным процессом почвенно-грунтовой толще. Засоление реликтовое, остаточное. Тип его — сульфатный, степень от слабой до сильной, с глубины 200 см (третий метр) наблюдается в основном увеличение содержания солей. Тип засоления также сульфатный, степень засоления от слабой до сильной.

На Городищенской оросительной системе при глубоком залегании грунтовых вод и орошении пресными поливными водами изучалась возможность перемещения солей из грунтов в почвенную толщу. Содержание солей в третьем метре может быть значительным (до 70—120 т/га).

После проведения солевой съемки, с помощью которой выбранные наблюдательные площадки, были начаты наблюдения по изучению водно-солевого баланса. За сравнительно небольшой период времени (с июня 1978 г. по август 1979 г.) балансовым методом было установлено, что в трехметровом слое почвогрунта запасы солей (табл. 5.2) увеличиваются (с 211,68 до 229,88 т/га).

Увеличение запасов солей происходит наиболее интенсивно в нижних горизонтах почвы. Это указывает на то, что источником поступления солей в почву являются запасы их в толще грунтов. Важным фактором в перемещении солей на Городищенской оросительной системе являются поливные воды. Они растворяют соли, и те при интенсивном испарении после полива перемещаются с направленным движением испаряющейся влаги к поверхности почвы.

Оросительная система мясо-овощного совхоза Магнитогорского металлургического комбината эксплуатируется свыше 40 лет. Система расположена на надпойменной террасе р. Урал в верхнем ее течении. Площадь ее около 650 га. Водозабор для

Таблица 5.2

**Изменение содержания солей в почвах на Городищенской
оросительной системе с июня 1978 г. по август 1979 г.**

Глубина слоя, см	Содержание солей, т/га	Глубина слоя, см	Содержание солей, т/га	Баланс $\pm$ т/га
Июнь 1978 г.		Август 1979 г.		
0—100	10,38	0—100	13,38	+3,00
100—200	58,87	100—200	63,37	+4,50
200—300	142,43	200—300	153,13	+10,70
0—300	211,68	0—300	229,88	+18,2

оросительной сети производится из р. Урал. Воды р. Урал гидрокарбонатные с преобладанием ионов кальция. Наименьшая минерализация воды характерна для периода весеннего половодья (апрель — май). Количество растворимых солей в это время составляет 100—150 мг/л, хорошо выражено преобладание HCO_3 (35—40%) и Ca (25—30%). В летний период минерализация увеличивается до 250—300 мг/л и достигает зимой 350 мг/л, количество гидрокарбонатов также увеличивается (HCO_3 — до 42—46%). Общая жесткость воды во время весеннего половодья изменяется от 1,25 до 1,90 мг-экв/л (вода мягкая), а в период летней и зимней межени от 2,7 до 3,6 мг-экв/л (вода умеренно жесткая).

Основными культурами, выращиваемыми на системе, являются овощные — капуста, морковь, свекла, картофель. Полив проводится дождевальными машинами ДДА-100МА, ДДН-70 и ДДН-100.

На территории оросительной системы МОС ММК преобладают черноземы выщелоченные среднесуглистые среднегумусные средне- и тяжелосуглистые. Разновидности черноземов выщелоченных — наиболее распространенные плодородные почвы в Челябинской области. Это один из важных факторов, обусловивших выбор оросительной системы МОС ММК для проведения исследований. Вместе с тем на территории находится комплекс солонцовых почв, который первоначально размещался в центре орошаемых полей узкой полоской и занимал площадь около 42 га. Почвенные обследования, проводившиеся в 1953 и 1960 гг. агрохимиком А. С. Забусовой и в Волжской землеустроительной экспедиции института «Росгипрозем» (1964 г.), показали дальнейшее распространение солонцовых почв, которые в комплексе с сильносолонцеватыми черноземами занимали уже около 140 га. К 1982 г. наблюдалась тенденция увеличения площади солонцовых почв на территории орошаемого массива.

Почвообразующие породы представлены однородными делювиальными желто-бурыми и бурыми глинами и суглинками, а также пестроцветными глинами. Грунтовые воды на территории оросительной системы находятся на глубине от 8 до 10 м на повышенных элементах рельефа и на глубине 1,5—2 м в понижениях.

Исследования показали, что распространение засоленных почв на территории оросительной системы связано с уровнем залегания грунтовых вод. При относительно глубоком залегании грунтовых вод (5—10 м) за 40 лет орошения в почвогрунтах зоны аэрации солевой режим не изменился. В пониженных элементах рельефа при уровне грунтовых вод 1,5—2 м произошло вторичное засоление и даже заболачивание части территории системы.

Анализ водной вытяжки показывает значительное содержание аниона HCO_3 и катиона натрия, которые из легкорастворимых солей являются наиболее токсичными для растений. Для этих почв характерна щелочная реакция почвенной среды с $\text{pH}=8,5 \dots 9,5$.

Данные наблюдений за 1978—1980 гг. показывают, что запасы солей за вегетационный период возрастают, причем в основном за счет увеличения количества соды. Содержание легкорастворимых солей на массивах с уровнем залегания грунтовых вод 1,8—2 м в несколько раз превышает содержание солей на орошаемых массивах, где уровни грунтовых вод составляют 2,5—3 м [177].

Таким образом на рассмотренных трех оросительных системах источники поступления солей в почвогрунты разные: на системе МОС ММК — из грунтовых вод, на Илекской оросительной системе — из поливных вод, на Городищенской — вследствие значительного содержания солей в почвах и грунтах.

На всех рассмотренных стационарных участках под действием орошения в активном слое почв соли накапливаются, что приводит к снижению плодородия почв и урожая сельскохозяйственных культур.

Исследования, проведенные на стационарах УралНИИВХ в степной зоне Оренбуржья и Челябинского Зауралья, показали, что химизм почвогрунтов в условиях надпойменных остепненных террас (Илекская и Городищенская оросительные системы) определяется водно-физическими свойствами грунтов зоны аэрации, высотой капиллярной каймы (критической глубиной грунтовых вод, например, на оросительной системе МОС ММК) и минерализацией поливных и грунтовых вод на орошаемых массивах. Все это необходимо учитывать при составлении прогноза изменений почвенно-мелиоративных условий и солевого баланса в проектах оросительных систем применительно к условиям степной зоны Южного Урала и Зауралья.

5.3. Прогноз изменения почвенно-мелиоративных условий в связи с территориальным перераспределением стока *

В истории развития орошения в нашей стране принципиально новым и важным направлением следует считать распространение его в степной зоне. Темпы освоения орошаемых земель в степной

* Настоящий раздел написан совместно с Ю. П. Антошенковым [13].

зоне все время возрастают. В Западной Сибири, на Южном Урале и в Северном Казахстане орошение широко используется при производстве кормовых, зернофуражных и овощных культур, в Поволжье — при выращивании овоще-бахчевых. Орошаемые земли входят в структуру современного ландшафта степной зоны нашей страны новым элементом, обуславливающим его направленное изменение. По сути говоря, создается новая природная среда, в условиях которой по-иному будут протекать физико-химические и биологические процессы в жизни растений и активного слоя почвы.

В настоящее время мы можем лишь сугубо ориентировочно представить, в каком направлении будет изменяться природа степного ландшафта в целом как географического комплекса [66, 116], но тем более важно дать сейчас хотя бы приближенный научный прогноз изменений почвенно-мелиоративных условий, которые произойдут в результате широкого применения орошения в степной зоне.

Исследования автора [135] показали, что за первые 5 лет эксплуатации оросительной системы в совхозе «Аргазинский» (1968 г.) Челябинской области уровень грунтовых вод поднялся на 3—3,5 м. Изменился также водно-солевой режим почвогрунтов зоны аэрации в сторону олуговения, заболачивания и засоления. Аналогичные изменения наблюдаются на оросительной системе МОС ММК Челябинской области, на Боровской, Елшанской Крутеньковской и Домашкинской оросительных системах Оренбургской области, где свыше 40% орошаемых площадей вышли из состава севооборота из-за вторичного засоления и заболачивания. В процессе орошения на Боровской системе произошла декомпенсация исходного режима грунтовых вод, поэтому их зеркало (особенно вдоль магистрального канала) стало быстро подниматься (на 60—80 см за год), и уже к 1970 г. глубина их залегания на 25% территории составляла менее 2 м [131]. В настоящее время эта система вышла из строя и находится в стадии реконструкции [134].

Новый ирригационный режим, как показывает практика орошения земель в степной зоне Южного Урала и Зауралья, приводит к изменению природно-мелиоративных условий в первую очередь в активном слое почвы, а в дальнейшем и во всей зоне аэрации почвогрунтов. Теплый и сухой вегетационный период в условиях орошения становится теплым и влажным. Такое изменение поверхностного и грунтового увлажнения почв вызывает изменение сложившихся в естественных условиях режимов почвообразования: водного, теплового, газового, окислительно-восстановительного, биологического и др. [88, 176].

При орошении земель в степной зоне обычный для южных и обыкновенных черноземов непромывной водный режим при глубоко залегании зеркала грунтовых вод (10—15 м и более) сменяется периодически чередующимися десукционнo-выпотным и промываемым режимами. Это приводит, если грунтовые воды

пресные (плотный остаток менее 1 г/л), к олуговению, а при минерализованных грунтовых водах почвы наряду с олуговением будут подвержены вторичному засолению.

Рассмотрим изменение почвенно-гидрологических условий в результате орошения по материалам Алейской оросительной системы (АОС), одной из самых крупных инженерных систем в Западной Сибири. Площадь АОС на 1 октября 1980 г. составляла 11 480 га, вторая очередь (находилась в процессе строительства) — 52 тыс. га, т. е. к концу XI пятилетки общая площадь должна составлять около 65 тыс. га.

Строительство первой очереди АОС было закончено в 1939 г. и водозабор из р. Алей достигал 35—40 млн. м³ в год. Хотя АОС является одной из современных оросительных систем в Алтайском крае, тем не менее она не отвечает последним требованиям ведения орошаемого земледелия из-за отсутствия на ней дренажно-коллекторной сети.

В результате обследований Томского Госуниверситета и Алтайского СХИ [183] выяснилось, что за первые десять лет эксплуатации (1940—1950 гг.) из-за вторичного засоления вышло из строя около 2500 га (25%), а к 1971 г., по данным почвенной партии Ленгипроводхоза, около половины всей орошаемой площади системы (5600 га).

В Западной Сибири, на Урале и в сопредельных им районах, где наблюдается ежегодное глубокое промерзание почвогрунтов (на 2,0—2,5 м и более), медленное и длительное их оттаивание (конец мая), вторичное засоление почвогрунтов, как отмечает П. С. Панин [147], имеет сложный цикл и развивается не только летом (в период поливов), но и зимой, когда идет своего рода «капиллярная возгонка солей снизу вверх». По П. С. Панину [147], в условиях Западной Сибири ирригационно-засоленные почвогрунты образуются за счет трех источников:

- 1) перенос солей из нижних в верхние горизонты почв в результате капиллярной возгонки;

- 2) возникновение вторичных солей в толще движения капиллярных вод в результате обменных реакций между поглощенными основаниями и растворенными солями;

- 3) подъем уровня минерализованных грунтовых вод.

Другие источники солей (из атмосферных осадков, поливных вод и золowych отложений) весьма незначительны и за короткий период вегетации (100—120 дней) не могут служить основной причиной вторичного засоления почвогрунтов в условиях степной и лесостепной зон Среднего региона.

Роль грунтовых вод в засолении почв и грунтов Алейской оросительной системы весьма значительна и проявляется в зависимости от уровня их залегания и степени минерализации (табл. 5.3).

Основываясь на упомянутых материалах и на данных табл. 5.3, можно в первом приближении составить прогноз вторичного засоления почвогрунтов зоны аэрации после ввода в эксплуатацию

Таблица 5.3

Годовая интенсивность вторичного соленакпления за счет грунтовых, поливных вод * на Алейской оросительной системе (по П. С. Панину)

Грунтовые воды			Накопление солей в слое, см			
глубина залегания, см	минерализация, г/л	среднее испарение, мм	0-100		0-25	
			т/га	%	т/га	%
50	2	221	5,37	0,038	2,15	0,072
	4		9,79	0,070	3,92	0,131
	6		14,21	0,101	5,68	0,189
100	2	148	3,91	0,028	1,56	0,052
	4		6,87	0,049	2,75	0,092
	6		3,83	0,070	3,93	0,131
175	2	105	3,05	0,022	1,22	0,041
	4		5,15	0,037	2,06	0,069
	6		7,25	0,052	2,90	0,097

* По расчетам П. С. Панина [147], для условий АОС количество солей, внесенных с поливными водами за 40 лет эксплуатации системы, составляет 0,95 т/га.

второй очереди Алейской оросительной системы при отсутствии коллекторно-дренажной сети (табл. 5.4).

Основными причинами засоления и осолонцевания орошаемых почв на Южном Урале является недостаток опыта эксплуатации орошаемых участков, отсутствие научно обоснованных критериев оценки качества оросительных вод применительно к местным условиям, среди которых особенно неблагоприятным фактором является слабый естественный дренаж большей части почвогрунтов. В мелиоративной практике оценка качества оросительных вод наиболее часто проводится по ирригационному коэффициенту Стеблера и по уравнению конвективной диффузии Н. Н. Веригина. Первый из них по самой своей основе не увязан с местными факторами природной среды, а второй может быть применен лишь на гидроморфных почвах. Между тем известно, что дальнейшее расширение площадей орошаемого земледелия в данном регионе предполагается проводить главным образом за счет земель с низкими уровнями грунтовых вод на автоморфных почвах. На современном этапе развития орошения мелиоративная техника может обеспечить такие режимы, с помощью которых предотвращается подъем уровня грунтовых вод. Поэтому встает вопрос об изучении закономерностей формирования химического состава орошаемых автоморфных почв и о разработке нового метода оценки качества оросительных вод, применимого к условиям Южного Урала, ландшафтный облик которого весьма изменчив.

Таблица 5.4

Интенсивность и прогноз вторичного засоления почв (по П. С. Панину)

Грунтовые воды		Интенсивность соленакпле- ния в год, %	Период (годы), за который степень засоления почв достигнет указанного уровня, %			
глубина зале- гания, см	минье- рализа- ция, г/л		0,3	0,5	1,0	2,0
Слой почвы 0—100 см						
50	2	0,038	8	13	26	52
	4	0,070	4	7	14	28
	6	0,101	3	5	10	20
100	2	0,028	11	18	30	72
	4	0,049	6	10	20	40
	6	0,070	4	7	14	28
175	2	0,022	14	22	44	88
	4	0,037	9	13	26	52
	6	0,052	6	10	20	40
Слой почвы 0—25 см						
50	2	0,072	4	7	14	28
	4	0,131	2	3,5	7	14
	6	0,189	1,5	2,5	5	10
100	2	0,052	6	10	20	40
	4	0,092	3	5,5	11	22
	6	0,131	2	3,5	7	15
175	2	0,041	7,5	12	24	48
	4	0,069	4	7	14	28
	6	0,097	3	5	10	20

Химический состав почв и почвенных растворов является функцией водно-солевого баланса ландшафта. При этом водный и водно-солевой балансы орошаемых почв отличаются от балансов естественных наличием дополнительных членов за счет оросительных вод и связанного с этим дополнительного прихода солей с оросительными водами, а также выноса их с возвратными водами. Таким образом, именно метод водно-солевого баланса орошаемого природного ландшафта может быть положен в основу разрабатываемой методики оценки качества оросительных вод, в том числе и на автоморфных почвах. Такая методика может быть создана путем реализации математической модели формирования химизма почв как естественных, так и орошаемых [13].

В основу этой математической модели могут быть положены две основополагающие зависимости:

а) влияние балансов отдельных солей на накопление солей в почве и на формирование почвенных растворов;

б) влияние химического состава почвенных растворов на формирование поглощающего комплекса почв.

Уравнение водно-солевого баланса орошаемого ландшафта можно записать в следующем общем виде [13]:

$$dI = I_{\text{вщ}} + I_a + I_{\text{ор}} - I_c - I_o, \quad (5.4)$$

где $I_{\text{вщ}}$ — модуль выщелачивания из почвогрунтов; I_a — модуль атмосферного солевого прихода; I_c — модуль солевого стока; $I_{\text{ор}}$ — модуль прихода солей с оросительными водами; I_o — модуль солеосаждения, dI — модуль изменения солезапасов.

При установившемся водно-солевом балансе применимо следующее уравнение:

$$I_{\text{вщ}} + I_a + I_{\text{ор}} - I_c - I_o = 0. \quad (5.5)$$

Теоретически накопление отдельных солей в твердом виде, а также их содержание в почвенном растворе можно рассчитать по математической модели, упомянутой выше, алгоритм которой приведен на рис. 5.1, а функциональные зависимости, реализуемые отдельными блоками, содержатся в таблицах 5.5—5.7.

Значение общего водно-солевого баланса ΔI определяется суммой водно-солевых балансов отдельных солей Δi по уравнению

$$\Delta I = \sum_{i=1}^n \Delta i, \quad (5.6)$$

где Δi — невязка уравнения водно-солевого баланса.

Таблица 5.5

Уравнения расчета атмосферного прихода отдельных ионов
и общего количества солей (т/км²·год)

Компонент	Уравнение	Средняя ошибка
Ca	$\exp (2,59 Z^{-0,229})$	$\pm 0,9$
Mg	$\exp (1,206 Z^{-0,114})$	$\pm 0,7$
Na	$\exp (3,052 Z^{-0,244})$	$\pm 0,4$
HCO_3'	$\exp (3,50 Z^{-0,114})$	$\pm 1,0$
SO_4''	$\exp (3,979 Z^{-0,349})$	$\pm 2,5$
Cl'	$\exp (2,817 Z^{-0,277})$	$\pm 0,9$
Σi	$\exp (5,043 Z^{-0,13})$	$\pm 6,2$

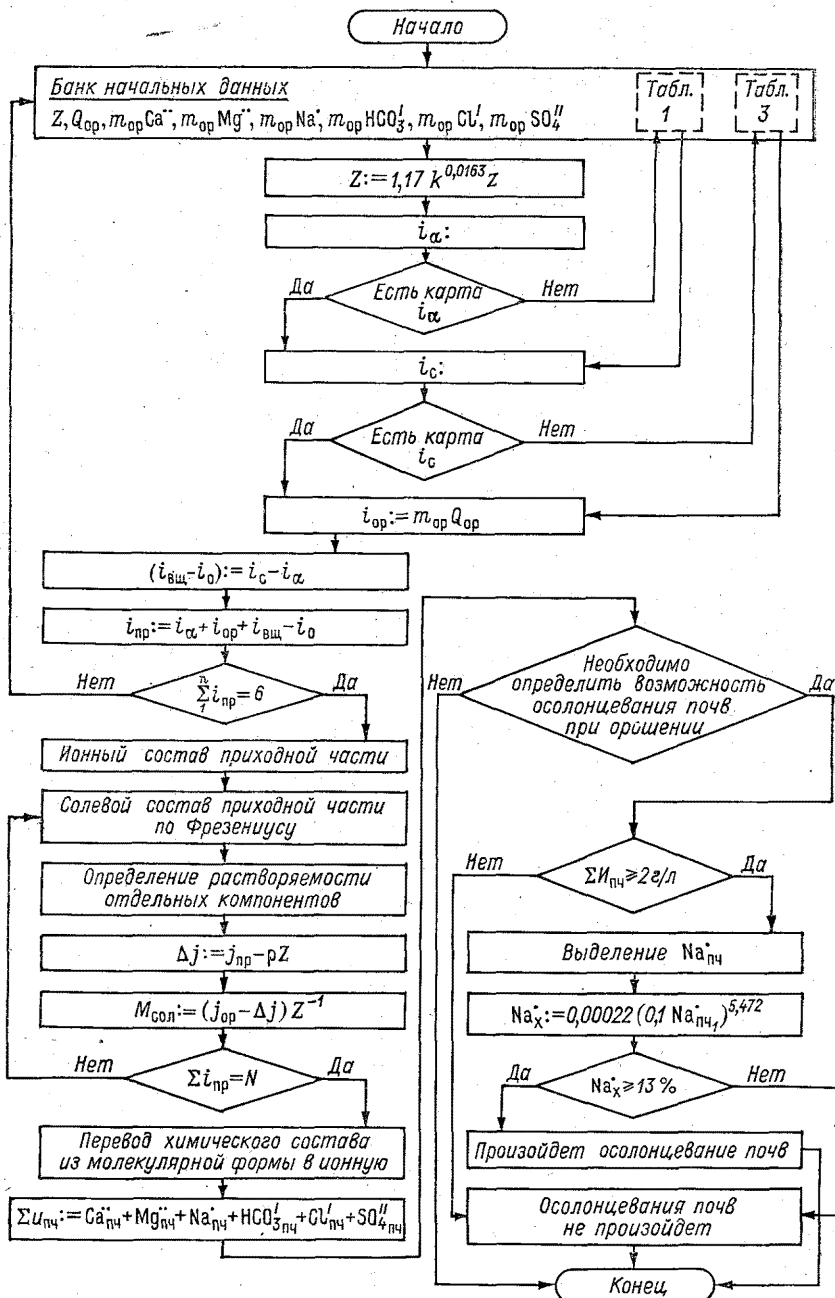


Рис. 5.1. Блок-схема и алгоритм имитационной модели процессов засоления и осолонения почвогрунтов зоны аэрации.

z — общий сток по карте стока, мм/год, Z — расчетный общий сток; $m_{ор}$ — концентрация вещества в поливных водах; p — растворимость отдельного компонента; k — коэффициент фильтрации; $Q_{ор}$ — объем воды, расходуемый на орошение; $j_{пр}$ — приход массы соли; $M_{сол}$ — концентрация соли; N — число присутствующих солей; $Ca_{пч}$ — концентрация компонента в почвенном растворе; Na_x — содержание поглощенного натрия, %; $Na_{пч}$ — содержание натрия в почвенном растворе, % весовой суммы катионов; $\Sigma N_{пч}$ — минерализация почвенного раствора; $\Sigma i_{пр}$ — минерализация приходящих вод.

Таблица 5.6

Уравнения расчета атмосферного прихода отдельных солей (т/км²·год)

Соль	i_a
$\text{CaCO}_3 + \text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$	$\exp(4,428 Z^{-0,203})$
CaSO_4	$\exp(2,33 Z^{-0,24})$
NaCl	$\exp(7,38 Z^{-0,318})$

Таблица 5.7

Уравнения расчета стока отдельных солей (т/км²·год)

Соль	i_c
$\text{CaCO}_3 + \text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$	$P \exp(0,291 Z^{0,433})$
CaSO_4	$P \exp(0,029 Z^{0,789})$
NaCl	$P \exp(0,132 Z^{0,459})$

Примечание. Коэффициент P пропорционален площади покрытия ландшафта, соответствующими легкорастворимыми породами; P выражается в долях от 1.

При установившемся водно-солевом балансе компоненты солевого состава

$$i_{\text{вщ}} + i_a - i_c - i_o - i_n = 0, \quad (5.7)$$

для орошаемых земель

$$i_{\text{вщ}} + i_a + i_{\text{ор}} - i_c - i_o - i_n = 0, \quad (5.8)$$

где i_a , i_c , i_n , $i_{\text{ор}}$, i_o — соответственно модули атмосферного солевого прихода, солевого стока, солевого испарения, прихода солей с оросительными водами, солеосаждения.

Установившаяся концентрация почвенного раствора каждой соли $m_{\text{пч}}$ будет составлять

$$m_{\text{пч}} = (i_{\text{вщ}} + i_a + i_{\text{ор}} - i_o - i_n) Z^{-1}, \quad (5.9)$$

где солебалансовые модули даны в т/м²·год, Z — в мм/год.

Твердая соль накапливается в том случае, если у данной соли сумма значений атмосферного прихода, прихода с оросительными водами и выщелачивания из пород больше суммы значений солевого стока и испарения. При расчете накопления твердой соли в ландшафте можно гипотетический солевой состав общего приходящего объема вод определять по Фрезениусу, а потенциальную растворимость отдельных присутствующих солей — по Дюбаю-

Хьюккелю [13]. Так как солевое испарение с поверхности суши незначительно, то им можно пренебречь.

Значение атмосферного солевого прихода и солевого стока ландшафта определяется по карте модулей атмосферного солевого прихода и солевого стока. При отсутствии таких карт — по уравнениям в табл. 5.5—5.7.

Выщелачивание из пород в естественных ландшафтах может быть оценено количественно в случае, если возможный солевой сток за пределы ландшафта превосходит солевой приход. К настоящему времени теория определения абсолютных значений выщелачивания солей из пород в автономных ландшафтах и солеосаждения еще не разработана. Поэтому можно говорить лишь о количественной оценке превышения одного из этих факторов над другим. Суммируя относительно водной фазы ландшафта, получаем уравнение

$$i_a - i_c = i_0 - i_{\text{вщ}}, \quad (5.10)$$

где положительному значению Δi соответствует преобладающее накопление солей в водной фазе, а отрицательное ее значение количественно характеризует преобладающий вынос солей. Если учесть, что при расчете примененных нами уравнений достаточно знать алгебраическую разность $i_0 - i_{\text{вщ}}$, а не значение каждого из этих компонентов в отдельности, то примененный подход оправдан.

Таким образом, подставляя в уравнение (5.6) значение Δi , рассчитанное по значениям i_a и i_c , взятым с соответствующих карт или по расчетным уравнениям, а также подставляя и значение i_a , можно определить установившуюся при заданных условиях концентрацию соли в почвенном растворе автономного ландшафта (в автоморфных почвах с низким уровнем грунтовых вод). Общая минерализация почвенного раствора может быть рассчитана по сумме концентраций отдельных солей.

Более приближенно общая минерализация почвенного раствора может быть оценена по уравнению, в котором используются только снятые с карт или рассчитанные модули соответствующих компонентов уравнения водно-солевого баланса ландшафта:

$$M_{\text{пч}} = (I_{\text{ор}} + I_a + I_{\text{вщ}} - I_0) Z^{-1}, \quad (5.11)$$

где (используя уравнения из таблиц 5.5—5.7)

$$I_0 - I_{\text{вщ}} = I_a - I_c = \exp(5,04Z^{-0,13}) - Z \exp(-d). \quad (5.12)$$

Значение d — показателя растворимости горных пород можно определить из табл. 5.8.

При прогнозировании большое значение имеет оценка возможного осолонцевания автоморфных почв в результате искусственного орошения. Содержание натрия в поглощающем комплексе почв можно рассчитать по уравнению, выведенному Ю. П. Анто-

шенковым [13], в котором приводится зависимость между концентрациями натрия в почвенном растворе $\text{Na}_{\text{пч}}$ и в почвенном поглощающем комплексе для различных почв Челябинской области,

$$\text{Na}_x = 0,00022 (0,1 \text{Na}_{\text{пч}})^{4,472}, \quad (5.13)$$

где $\text{Na}_{\text{пч}}$ — содержание натрия в почвенном растворе, % весовой суммы катионов.

Таблица 5.8

Показатель растворимости горных пород d

Растворимость горных пород	d
Малорастворимые (кварциты, граниты)	0,717
Среднерастворимые	0,369
Легкорастворимые (известняки, гипсы)	0,176

Для установления степени осолонцевания почв необходим соответствующий критерий, в качестве которого может быть принято количество поглощенного почвой натрия, равное 13% [17]. Эта величина является признанной нижней границей содержания поглощенного натрия, характеризующей солонец. Если при расчетах содержание поглощенного натрия оказывается меньше 13%, то осолонцевания почв не будет. Если же оно оказывается больше 13%, существует опасность осолонцевания.

Оценку возможности осолонцевания почв с использованием рассчитанного химизма почвенного раствора можно делать и другими методами, например по уравнению И. Н. Антипова-Каратаева, помня только, что фактическое соотношение должно рассчитываться не по концентрации ионов в оросительной воде, а по их концентрации в почвенном растворе. Уравнение И. Н. Антипова-Каратаева с учетом предложенного дополнения имеет следующий вид [13]:

$$(\text{Ca}_{\text{пч}}^{++} + \text{Mg}_{\text{пч}}^{++}) \text{Na}_{\text{пч}}^{-1} = 0,23 \sum i_{\text{пч}}, \quad (5.14)$$

где $\text{Ca}_{\text{пч}}^{++}$, $\text{Mg}_{\text{пч}}^{++}$ — соответственно концентрации кальциевых и магниевых солей в почвенном растворе, мг·экв/л; $\sum i_{\text{пч}}$ — общее содержание солей в почвенном растворе, г/л.

В этом случае опасность осолонцевания становится реальной при превышении левой части уравнения (5.14) над правой (критической).

Предлагаемая модель формирования геохимии почв автоморфных ландшафтов при их орошении проверялась в Челябинской области на 50 участках, орошаемых водами самой различной минерализации — от 0,2 до 8,5 г/л, и дала хорошие результаты. Это позволяет надеяться, что предлагаемая модель может быть ис-

пользована в практике прогнозирования возможности осолонцевания почв при их орошении.

Значение необходимого стока за пределы участка можно рассчитать, например, по уравнению [13]

$$Z = (Na_a + Na_{op}) [10 (4545 Na_x)^{0,182}]^{-1}. \quad (5.15)$$

Если расчеты по предложенному методу показывают опасность засоления почв — увеличение концентрации почвенных растворов до значений, превышающих 0,2%, то в этом случае минерализация почвенных растворов также должна регулироваться посредством изменения общего стока, который можно рассчитать по уравнению

$$Z = \left[\sum_1^n (i_a + i_{op} + i_{вщ} - i_o) \right] M_{пч}. \quad (5.16)$$

Очевидно, описанная выше математическая модель формирования геохимии почв может использоваться как метод оценки ирригационного качества оросительных вод (рис. 5.1). Этот метод содержит новый, весьма важный элемент — расчет химического состава почвенного раствора и его влияния на почвенный поглощающий комплекс, по которому дается оценка возможности осолонцевания почвы.

Представленное прогнозирование степени засоления автоморфных почв под влиянием орошения наиболее достоверно для зоны погружения поверхностных вод (по типизации В. М. Легостаева), которая является преобладающей в западных и центральных районах Челябинской и Оренбургской областей, а также на северо-западе Курганской области. Здесь уровень грунтовых вод устойчиво залегает на достаточно большой глубине (15—20 м и более) и при рациональном орошении не может быть поднят на критическую глубину.

Для автоморфных почв с неглубоким уровнем грунтовых вод, расположенных в зоне рассеивания грунтовых и поверхностных вод (по типизации В. М. Легостаева), которая распространена в восточной части исследуемого региона, вероятно, более приемлемым является прогнозирование с учетом возможного подъема уровня грунтовых вод и участия их в соленакоплении в зоне аэрации. Такие почвы в настоящее время, как правило, не засолены, однако в условиях орошения при неустановившемся водно-солевом балансе возникает опасность прогрессирующего накопления солей.

В исследованиях В. А. Ковды, В. В. Егорова и др. [88] выяснилось, что для предотвращения отрицательного воздействия солей на растения необходимо, чтобы их содержание не превышало порог токсичности, который при содовом засолении составляет 0,001%, при хлоридном 0,01%, при сульфатном 0,3%, а при одновременном содержании нескольких солей 0,2% и менее.

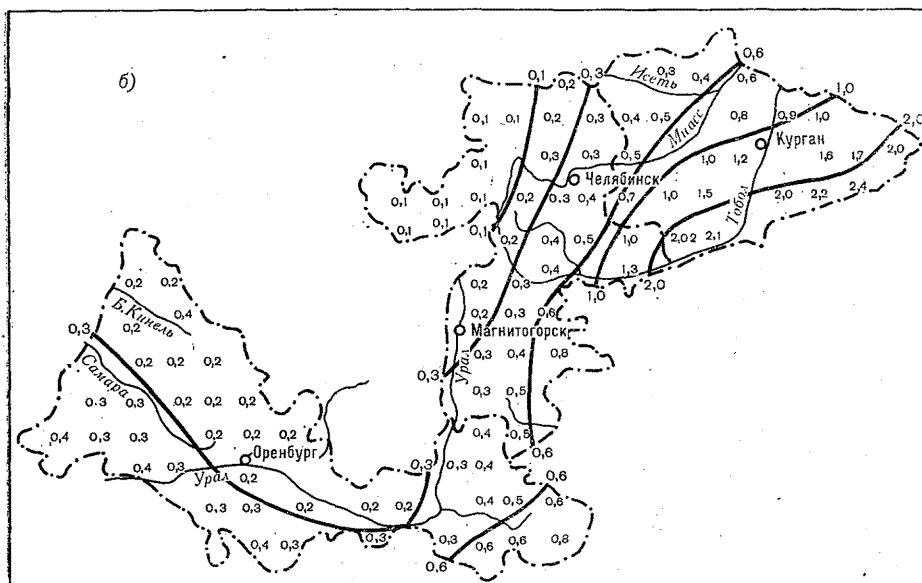
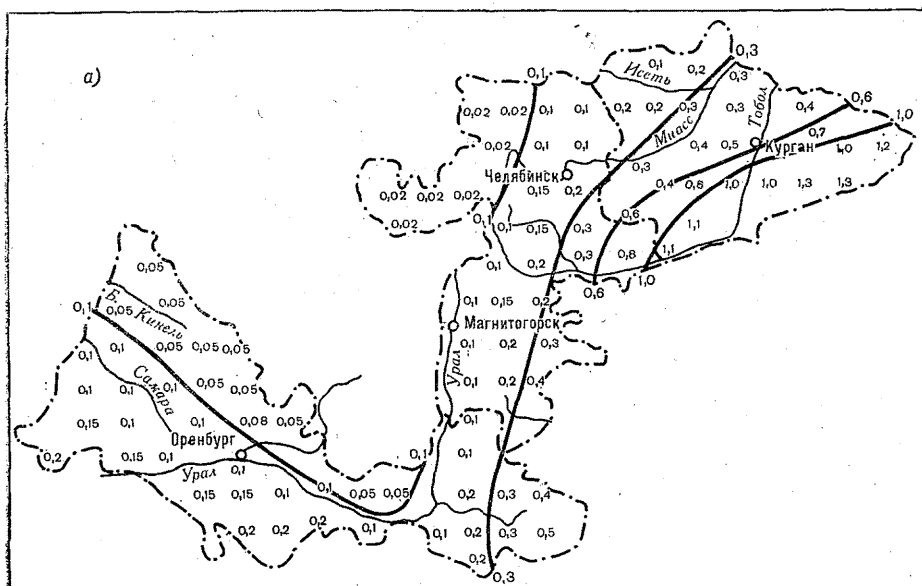


Рис. 5.2. Прогноз засоления (%) автоморфных почв Южного Урала при орошении водами с минерализацией 1,0 г/л (а) и 2 г/л (б) в средний по увлажнению год, засоление в %.

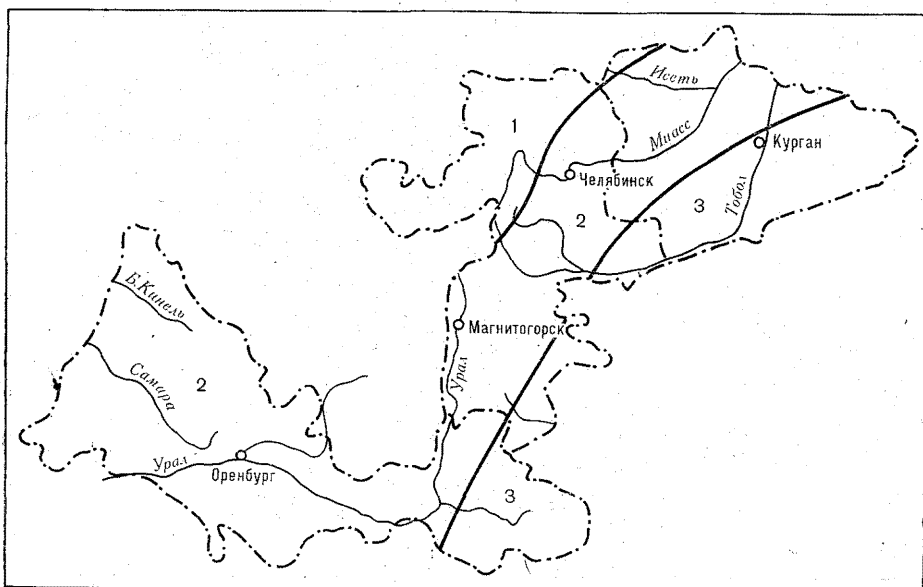


Рис. 5.3. Районирование территории Курганской, Челябинской и Оренбургской областей по характеру возможного засоления автоморфных почв под влиянием орошения водами типа обских.

Нумерация зон — см. в тексте.

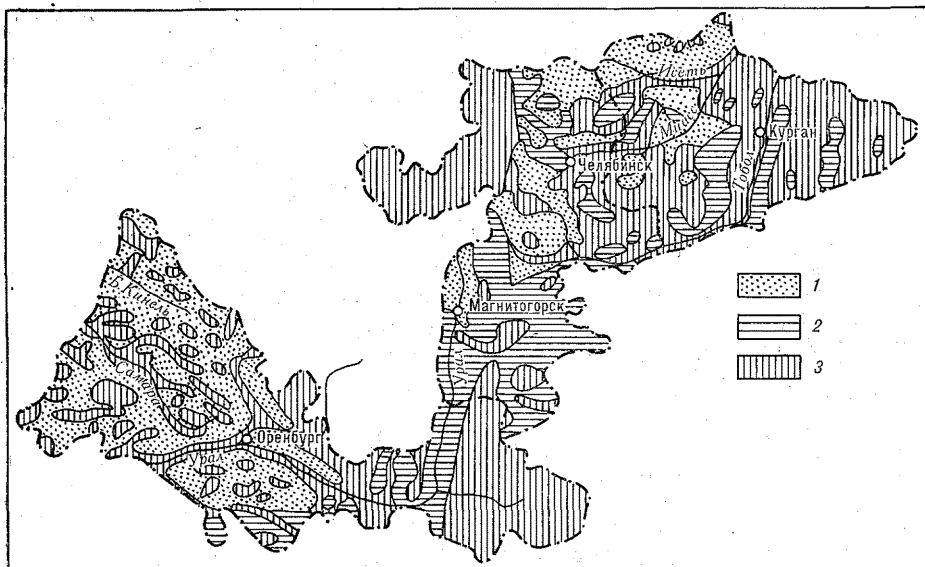


Рис. 5.4. Схематическая карта качественной оценки сельскохозяйственных угодий Курганской, Челябинской и Оренбургской областей по их пригодности для орошения.

1 — зона хорошего ирригационного качества; 2 — земли неудовлетворительного ирригационного качества, требующие дополнительных капитальных вложений (дренаж и т. д.); 3 — земли, непригодные для орошения.

При орошении водами типа обских засоление автоморфных почв с уровнем грунтовых вод до 2 м в западной части Челябинской области будет находиться на уровне 0,1—0,2%, на основной части территории Челябинской, Курганской и Оренбургской областей — на уровне 0,2—0,3%, на востоке Курганской, Челябинской и Оренбургской областей достигать 1,0%.

При орошении водами с минерализацией 1,0 г/л изменения могут быть более существенными. Засоление может быть на западе Челябинской области до 0,2%, на преобладающей части территории региона — до 0,3—0,6%, на востоке Курганской, Челябинской и Оренбургской областей — до 1,0% (рис. 5.2 а). С увеличением минерализации оросительных вод (до 2,0 г/л) интенсивность соленакопления возрастает (рис. 5.2 б).

Проверка выявленной тенденции на орошаемой площади с высокими уровнями грунтовых вод (нижний склон участка в совхозе «Новомиасский» Чебаркульского района Челябинской области) дала положительные результаты (с отрицательными отклонениями для пахотного горизонта, вызванными, очевидно, атмосферным опреснением).

Районируя исследуемый регион по характеру возможных изменений автоморфных почв под влиянием их орошения водами типа обских, получаем три основных зоны (рис. 5.3):

1) зона отсутствия перспективного засоления орошаемых почв (прогнозное засоление менее 0,15—0,2%), территориально приуроченная к западной и северной частям Челябинской области, к северо-западу Курганской области;

2) зона возможного повышенного перспективного засоления орошаемых почв (прогнозное засоление 0,05—0,3%, в циклы сухих лет 0,1—1,0% при концентрации почвенных растворов более 3000 мг/л), территориально соответствующая центральной части Челябинской области, центральной и северной частям Курганской области;

3) зона возможного высокого перспективного засоления орошаемых почв (прогнозное засоление 0,1—0,6%, в засушливые периоды — до 1,0% при концентрации почвенных растворов более 3000 мг/л).

В заключение настоящего раздела приводим схематическую карту качественной оценки сельскохозяйственных угодий Южного Урала по их пригодности для орошения (рис. 5.4), составленную по материалам фактических исследований на давно орошаемых участках [13].

5.4. Использование вод повышенной минерализации для орошения

Во многих странах мира водные ресурсы являются лимитирующим фактором экономического и социального развития. Особенно резко ощущается недостаток пресной воды, который к настоящему времени превратился в серьезную проблему для всего человечества.

Дефицит пресной воды объясняется ростом населения земного шара, большими затратами ее на нужды быстро развивающейся промышленности и орошаемого земледелия в сельском хозяйстве.

Потребление пресной воды в мире в настоящее время составляет свыше 1200 км³ в год. Расход воды на душу населения в различных частях планеты крайне неравномерен. Если в развивающихся странах он составляет не более 200 м³ в год, то в индустриальных странах — в среднем 600—800 м³. В США в настоящее время расход воды на одного жителя составляет свыше 2100 м³ в год. Предполагается, что к 2000 г. расход воды в некоторых странах мира достигнет 2000 м³ на душу населения в год, а в США 2500 м³ [114]. Поэтому за последние 25—30 лет ученые самых разных специальностей работают над двумя крупнейшими проблемами: опреснение соленых вод и возможность орошать хозяйственно ценные культуры водами повышенной минерализации.

В Предуралье встречаются хлоридные, натриевые, натриево-кальциевые и кальциевые подземные воды и рассолы с общей минерализацией от 1 до 400 г/л. На западном склоне Урала преимущественно распространены воды смешанного химического состава с общей минерализацией от 0,5 до 10 г/л. Общая минерализация вод Центрального Урала составляет 0,1—0,6 г/л, реже — до 1 г/л. Воды преимущественно гидрокарбонатно-кальциевые пресные. На восточном склоне Урала минерализация подземных вод составляет от 0,5 до 3,0 г/л (пресные и слабозасоленные), а на Южном Урале (Челябинская область) распространены засоленные водоносные комплексы в рыхлых неогеновых отложениях с минерализацией до 3—5 г/л, даже до 72 г/л. В Зауралье часто встречаются хлоридные натриевые и натриево-кальциевые воды с минерализацией от 3,0 до 30,0 г/л (западная часть Курганской области), реже — до 70—80 г/л (Затоболье).

Площадь орошаемых земель в стране из года в год увеличивается, тогда как сток речных вод остается относительно стабильным. С возрастанием расхода воды на орошение и другие нужды (промышленное и сельскохозяйственное водоснабжение) запасы пресных вод постепенно уменьшаются. В связи с этим встает вопрос о возможности использования минерализованных вод (поверхностных и подземных). Особенно актуален он для Урала, где уже в настоящее время ощущается недостаток пресной воды. Применимость минерализованной воды для орошения определяется ее химическим составом, а также степенью естественной или искусственной дренированности почвогрунтов зоны аэрации. Вопрос о предельно допустимом содержании солей в оросительной воде должен решаться в зависимости от водно-физических свойств почв, климатических и гидрогеологических условий орошаемого массива, режима орошения, техники полива и т. д.

Обычно считается, что речные или озерные воды с содержанием солей до 1 г/л пригодны для орошения во всех случаях, содержание солей 2—3 г/л и более считается опасным. Поверхностные

или подземные воды при минерализации 3—7 г/л могут быть использованы для орошения только при наличии естественного или искусственного дренажа при промывном типе поливов (полив большими нормами).

По данным А. П. Сирмана, коллективный сад шахты Миасской (Челябинская область) площадью 7,2 га поливается уже в течение девяти лет водой со средней минерализацией 3,8 г/л. Однако никакого засоления почвогрунтов зоны аэрации не замечено. Это объясняется, во-первых, тем, что малорастворимые соли $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$, CaSO_4 , $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$ и др. содержатся в поливной воде в небольших концентрациях (CaSO_4 —245 мг/л, $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$ —758 мг/л). Во-вторых, расчет многолетнего водно-солевого баланса показывает, что баланс основных малорастворимых солей нейтрален. Этим, по-видимому, и объясняется возможность орошения сравнительно минерализованными водами коллективного сада шахты Миасской.

В связи с проблемой использования минерализованных вод для орошения Г. С. Нестерова [88] приводит следующую их классификацию (табл. 5.9).

Таблица 5.9

Классификация воды по общей минерализации

Минерализация воды, %	Степень солености воды	Количество солей, поступающих на 1 га со 100 м ³ воды, кг	Пригодность воды для орошения
0,01—0,03	Низкая	10—30	Пригодна для всех культур
0,04—0,06	Средняя	40—60	Пригодна для всех культур, кроме солечувствительных
0,07—0,10	Высокая	70—100	Безопасна только для солевыносливых культур на почвах с хорошей структурой
0,11—0,15	Очень высокая	110—150	Возможно применение в ограниченных количествах для солевыносливых культур
Свыше 0,16	Чрезмерная	160	Не пригодна для орошения

Академик ВАСХНИЛ И. С. Рабочев считает, что воду с концентрацией солей 3—5 г/л можно применять на хорошо проницаемых почвах возвышенностей, имеющих хороший естественный отток грунтовых вод. При этом подаваемые дозы воды должны быть выше, чем НВ почвогрунтов. При создании густой и глубокой искусственной дренажной системы можно успешно использовать воду с концентрацией солей 6—10 г/л. Если же концентрация солей в водах выше 10—15 г/л, необходимо их смешивать с пресной водой, чтобы получить концентрацию 5—6 г/л.

И. С. Рабочев проводил в течение 10 лет (1960—1969 гг.) полевые опыты по использованию минерализованных вод (5 г/л) для орошения в западной части Прибалхашья (Кенес-Анархай). Почвы на участках — легкосуглинистые пустынно-степные, подстилаемые на глубине 0,5—1,0 м щебнисто-гравийными отложениями [88]. В опытах получены следующие урожаи: кукурузы на зерно 5,0 т/га, на силос 30,0—35,0 т/га, ячменя 2,0—2,5, люцерны 9,5, суданки 5,0 т/га (сено). В первые же годы наблюдений за солевым режимом почв установлено, что при орошении минерализованными водами происходит осолонцевание почв, вызывающее ухудшение физических и фильтрационных свойств даже супесчаных почв.

В. А. Ковда [88] отмечает, что в тех случаях, когда условия естественного дренажа неблагоприятны и водные ресурсы ограничены, применение даже слабоминерализованных вод для орошения может вызвать сильное засоление почвы в короткий промежуток времени. Соли в этом случае не вымываются, так как соленые почвенные растворы, находящиеся в капиллярах, не замещаются регулярно пресными поливными водами. Если водные ресурсы ограничены на сравнительно большой территории, то представляется более целесообразным уменьшить орошаемую площадь и одновременно увеличить количество поливных вод с тем, чтобы происходило регулярное выщелачивание накопившихся солей из почвогрунтов зоны аэрации.

Заслуживает также внимания использование для орошения шахтных вод Челябинского бурогоугольного бассейна. В настоящее время шахтные воды используются лишь для хозяйственно-производственных нужд самих шахт. За сорокалетний период эксплуатации шахт вблизи г. Челябинска выяснилось, что ежегодно не используется и бесполезно сбрасывается в реки свыше 15 млн. м³ пресных шахтных вод, которыми можно было бы оросить как минимум 7—8 тыс. га овощных и кормовых культур. Шахтные воды имеют преимущественно гидрокарбонатный состав с минерализацией до 1 г/л. Так, например, воды шахт Батуринская, Восточная, Калачевская, Красносельская, Миасская, Октябрьская и других имеют минерализацию от 0,6 (Калачевская) до 0,9 г/л (Красносельская) и вполне пригодны для орошения.

Следует также отметить, что шахтные воды комбината «Челябинскуголь» в настоящее время не только не используются в народном хозяйстве, но бессистемно сбрасываются в реки, что приносит ущерб сельскому хозяйству. Так, например, озеро Курлады Копейского района Челябинской области в результате непрерывного сброса шахтных вод ежегодно переполняется и затопляет около 5 тыс. га сельскохозяйственных угодий. В Коркинском районе шахтные воды сбрасываются в р. Чумляк, вызывая заболачивание ее поймы и подтопление сельскохозяйственных угодий. Общая площадь заболоченной поймы р. Чумляк составляет около 70 тыс. га (из них 37 тыс. га в Курганской области и 33 тыс. га в Челябинской).

Вследствие дефицита пресных вод на Южном Урале, по-видимому, целесообразно, помимо использования шахтных вод действующих шахт, использовать также закрытые или законсервированные шахты в качестве подземных водохранилищ. В летний засушливый период пресные и слабоминерализованные воды этих подземных водохранилищ могут быть использованы как дополнительный резерв при поливе овощных культур пригородной зоны.

Обобщая выполненные в нашей стране и за рубежом опыты по орошению сельскохозяйственных культур минерализованной водой, следует считать, что в степных и лесостепных районах Среднего региона СССР вода повышенной минерализации (3—5 г/л) может быть использована в практике орошаемого земледелия, однако при строгом соблюдении всех мер, необходимых для предотвращения аккумуляции солей в активном слое почвы.

Выводы

1. Прогноз возможного засоления под влиянием орошения автоморфных почв Южного Урала и Зауралья по солебалансовому методу, разработанному автором и Ю. П. Антошенковым, показал, что наиболее подверженными засолению являются восточные районы Курганской, Челябинской и Оренбургской областей.

2. Влияние вод повышенной (1,0 г/л) и высокой (2,0 г/л) минерализации на мелиоративное состояние орошаемых автоморфных почв будет более интенсивным, чем маломинерализованных вод (типа обских, имеющих минерализацию 150—300 мг/л); в восточных районах Южного Урала интенсивность засоления может достигать более 1% даже в средние по увлажненности годы. В засушливые годы (и тем более в засушливые циклы лет) засоление орошаемых почв будет возрастать: при минерализации вод 1,0 г/л — до 2%, при минерализации 2,0 г/л — до 2—4%.

3. При орошении земель в условиях степной зоны обычный для южных и обыкновенных черноземов непромывной водный режим при глубоком залегании грунтовых вод (10—15 м и более) сменяется периодически чередующимися десуксивно-выпотным и промываемым режимами. Это приводит, если грунтовые воды пресные, к олуговению, а при минерализованных грунтовых водах почвы, наряду с олуговением, будут подвержены вторичному засолению.

4. При проектировании крупных оросительных систем в степной и лесостепной зонах необходимо применять балансово-экосистемный подход к мелиорации земель, обеспечивающий ее положительное влияние на природную среду и повышение плодородия почвенного покрова.

5. Следует отметить, что существующие методы прогноза засоления почвогрунтов имеют целый ряд ограничений как по точности прогноза, так и по возможности их практической реализации. Наибольшим недостатком их является то, что прогноз

засоления почвогрунтов зоны аэрации проводится только по сумме солей без разграничения на отдельные составляющие. Это положение совершенно не отвечает требованиям, предъявляемым к прогнозам засоления почв в условиях, где ожидается развитие содового засоления (юг Западной Сибири). Существующие же методы не позволяют прогнозировать содовое засоление.

6. Применение электронно-вычислительной техники не устраняет недостатков разобранных методов прогноза засоления почв, так как ЭВМ в данном случае обеспечивают только быстроту расчетов, но не влияют на методологию выполняемых прогнозов. Поэтому необходимо разработать новые методы прогноза засоления почв, основанных на более совершенных физических моделях.

Глава 6. ГИДРОМЕЛИОРАТИВНОЕ РАЙОНИРОВАНИЕ

6.1. Сущность и состояние вопроса

Попытки районирования территории степной зоны Среднего региона СССР на основе учета всего многообразия природных ландшафтов имеют свою историю. Однако это районирование или носило очень схематичный характер, или опиралось на анализ какого-либо одного из природных факторов (растительность, почвы, климат). К первой группе следует отнести естественно-историческое районирование, предложенное в 1947 г. С. Г. Струмилиным и И. С. Лупиновичем [178], ко второй — физико-географическое районирование Н. А. Гвоздецкого и Н. И. Михайлова [49], Л. В. Дунина-Барковского [66]; почвенно-географическое районирование К. П. Горшенина [53]; гидрогеологическое районирование И. В. Гармонова, Н. В. Роговской [47] и Д. М. Каца [83]; агроклиматическое районирование Д. И. Шашко; районирование по водному фактору С. Л. Вендрова. Районирование территории по признакам водного баланса проведено А. Н. Костяковым [98].

Всесторонний учет совокупности естественно-исторических факторов для Алтайского края и оценка на этой основе хозяйственно-экономических и природных особенностей этой территории была сделана А. М. Шульгиным [204], В. Д. Александровой, Н. И. Базилевич, Г. В. Заниным [71]. В работе В. А. Сенникова, А. П. Сляднева [171] даны географические основы климатического районирования и опыт их применения на юго-востоке Западно-Сибирской равнины. В. С. Мезенцев [156] предложил метод гидролого-климатических расчетов и провел районирование территории Западно-Сибирской равнины по признакам увлажнения и теплообеспеченности. При мелиоративном районировании Сибири и Дальнего Востока В. А. Николаев [140] выделил три зоны,

в основу этого выделения им были положены геолого-геоморфологические данные.

Почвенно-мелиоративное описание Кулундинской степи было впервые сделано академиком И. П. Герасимовым на основании работ экспедиции Почвенного института АН СССР в 1933—1934 гг. В 1955 г. и в 1965 г. А. П. Петров, Е. М. Карлов и Е. М. Никифоров (Ленгипроводхоз) составили схематическую карту гидрогеологического и почвенно-мелиоративного районирования зоны проектируемого орошения Кулундинской степи. Р. В. Ковалев, П. С. Панин, В. П. Панфилов, С. Н. Селяков [169] на основе многолетних исследований Биологического института СО АН СССР разработали схему почвенно-мелиоративного районирования южной части Обь-Иртышского междуречья. В основу почвенно-мелиоративного районирования Кулундинской степи во всех упомянутых работах положены различия в почвенных и гидрогеологических условиях геоморфологических районов [184].

Все эти материалы, несомненно, представляют научный и практический интерес, пополняя и углубляя накопленные знания об интересующей нас территории. Но при использовании водных ресурсов для орошения мы воздействуем на весь комплекс природных условий региона. Поэтому ни один из элементов этих условий в отдельности (рельеф, гидрогеология, климат, почвы и т. д.) не может служить районирующим фактором. Иными словами, мелиоративное районирование должно быть комплексным и проводиться на широкой физико-географической основе [12].

6.2. Районирование по водным ресурсам и их возможному использованию

В 1961 г. автор [127] составил схематическую карту районирования Обь-Иртышского междуречья по наличию местных водных ресурсов и по их возможному использованию в ближайшем будущем. В работе [127] изложены рекомендации по использованию местного стока (поверхностного и подземного) в выделенных четырех основных геоморфологических районах Кулундинской степи на первом этапе ее освоения без привлечения обских вод и строительства крупных оросительных систем (рис. 6.1). Приведем краткую характеристику этих районов.

На Приобском плато среднегодовое количество осадков составляет 300—350 мм; весенний сток 30—50 мм. Подземные воды залегают на глубине 100 м и более, дебит скважин равен 1—3 м³/ч. Для орошения возможно использование весеннего стока в мелководных и глубоководных лиманах, прудах и водохранилищах, в руслах балок, временных водотоках, а также возможно локальное использование вод р. Оби (механический водоподъем).

На Кулундинской аллювиальной равнине годовое количество осадков в среднем составляет около 250 мм, весенний сток практически отсутствует; почвы легкого механического состава (супеси и легкие суглинки); уклоны земной поверхности весьма незначительны (менее 0,001). Близко к поверхности (5—20 м) залегают пресные подземные воды нижнечетвертичного водоносного горизонта, дебит скважин равен от 60 до 120 м³/ч, качество воды хорошее. Водохозяйственные мероприятия здесь в ближайшие годы могут идти по пути использования подземных вод нижнечетвертичных отложений. Для обводнения и частичного орошения (при определенной минерализации воды) можно также использовать артезианские воды третичных и верхнемеловых отложений, которые находятся на глубине от 300 до 1000 м.

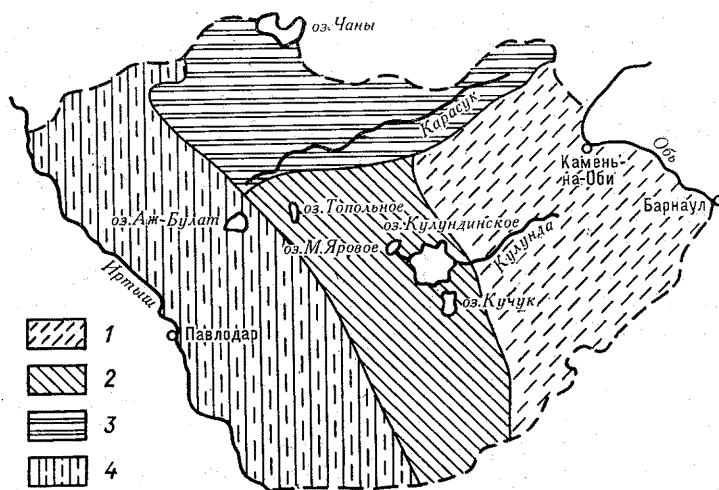


Рис. 6.1. Районирование Обь-Иртышского междуречья по водным ресурсам и их возможному использованию.

1 — Приобское плато; 2 — Кулундинская аллювиальная равнина; 3 — Северная Кулунда; 4 — Павлодарское плато.

В Северной Кулунде осадков выпадает сравнительно больше, испаряемость меньше, грунтовые воды и водоупор залегают близко к поверхности, имеется много горько-соленых озер, особенно в поймах рек. Колодцы здесь малodeбитны, и грунтовые воды нередко имеют высокую минерализацию (5—10 г/л). Для территории Северной Кулунды необходимы не только обводнительно-оросительные, но и осушительные мероприятия. На водосборах пресных и соленых озер целесообразно осуществлять комплексные мелиорации (см. п. 4.7).

Павлодарское плато по характеру рельефа и весеннему стоку занимает среднее положение между Приобским плато и Кулундинской аллювиальной равниной. Для обводнения и ло-

кального орошения здесь могут быть использованы подземные воды, а на малых водосборах — весенний сток для устройства мелководных ярусных лиманов (Прииртышская озерно-аллювиальная равнина). Близость Иртыша позволяет использовать также воды этой мощной водной артерии для орошения овощных и кормовых культур.

Уместно отметить, что за прошедшие со времени опубликования работы [127] двадцать лет большинство из рекомендуемых ранее мероприятий так или иначе нашли свое отражение в мелиоративной практике этого уникального по природно-климатическим и хозяйственным условиям района. По данным водохозяйственных организаций на 1 января 1983 г., в Северной Кулунде (Новосибирская область) регулярное орошение проводится на площади свыше 10 тыс. га (с водозабором из пресных озер, р. Карасук и Приобского водохранилища), а лиманное орошение — на площади около 12 тыс. га (пойменные лиманы в бассейне рек Баган и Карасук). В Павлодарской области Казахской ССР по состоянию на 1 января 1983 г. имелось 29 980 га земель с оросительной сетью, использовалось же под посев в 1982 г. 29 526 га. Орошаемые территории в правобережной части Павлодарской области представлены в основном мелкими участками площадью от 50 до 400 га и только девять из них имеют площадь свыше 400 га. Источником орошения в основном является р. Иртыш (подземные воды используются на площади 5085 га, из них только в колхозе «30 лет Казахстана» орошается подземными водами около 3000 га). Инженерные оросительные системы, построенные в 1964—1980 гг. (совхоз Черноярский, им. Мичурина, им. Гагарина, Павлодарский, Качирский и др.), находятся в хорошем состоянии.

В 1964 г. в проектно-институте Ленгипроводхоз был сделан технико-экономический доклад по развитию орошаемого земледелия в Кулундинской степи (при этом были учтены опубликованные материалы автора по районированию). В 1972 г. в Ленгипроводхозе были закончены рабочие чертежи двух опытно-производственных орошаемых участков площадью (нетто) 10 тыс. га каждый: первого — в Центральной Кулунде (каштановые почвы), пос. Ромны-Златополь Кулундинского района Алтайского края; второго — на Приобском плато (южные черноземы), пос. Новотроицкое Родинского района Алтайского края. Строительство опытно-производственных орошаемых участков начато в 1977 г.

В 1968—1969 гг. Алтайской комплексной экспедицией МГУ под руководством и при участии автора обследованы орошаемые участки Кулунды в пределах Алтайского края. При этом выявлена большая хозяйственная эффективность орошения. Наряду с этим были обнаружены и некоторые характерные недостатки в организации орошения.

Орошаемое земледелие в Центральной Кулунде при использовании подземных вод и современной дождевальной технике может успешно развиваться в том случае, если при каждом орошаемом

участке будут построены наземные водоемы-аккумуляторы. По предложению автора первый такой водоем был построен в 1963 г., сейчас в хозяйствах Центральной Кулунды уже построено свыше 100 наземных водоемов-аккумуляторов.

По решению XXV съезда КПСС начато строительство Кулундинского магистрального канала, берущего начало от р. Оби (г. Камень-на-Оби). Пропускная способность первой очереди канала составит $25 \text{ м}^3/\text{с}$, при форсированной подаче до $30 \text{ м}^3/\text{с}$. Магистральный канал, протяженностью 182 км, предназначен обеспечить подачу воды на два крупных орошаемых массива: Новотроицкий и Златополинский, площадью до 10 тыс. га каждый. Одновременно начато также строительство второй очереди Алейской оросительной системы на площади 52 тыс. га (Алтайский край).

6.3. Природно-мелиоративное районирование

Система таксономических единиц природно-мелиоративного районирования, по В. С. Аношко [12], заключается в классификации отдельных комплексов, в результате чего определяются их соподчинения и таксономический уровень. Основными единицами комплексного природно-мелиоративного районирования являются: зона, провинция, область (подобласть), район (подрайон), участок.

Так как факторы, определяющие необходимость выделения самостоятельных таксономических единиц, территориально ограничены, то выделы (таксоны), как отмечает В. С. Аношко [12], будут иметь определенные размеры, от которых будет зависеть выбор карт для их нанесения. Такие таксономические единицы, как зона и провинция, возможно выделить на мелкомасштабных и частично на среднемасштабных картах, область и район — на средне- и частично на крупномасштабных, участки и более мелкие единицы — только на крупномасштабных картах.

Согласно В. С. Аношко [12] и А. М. Шульгину [204], при выделении зон в основу должен быть положен комплекс природных условий, которые определяют тип неблагоприятных явлений и процессов, общий для зоны и вызывающий необходимость в зональном наборе видов мелиорации. Выделение провинций внутри зон проводится на основании особенностей их природных условий и комплекса мелиоративных мероприятий, которые отвечают данным условиям и поэтому имеют наибольший эффект.

Природно-мелиоративные районы выделяют по совокупности местных зональных и азональных природных факторов, также с учетом хозяйственно-экономических планов и возможностей, определяющих характер и объем мелиоративных мероприятий [12].

Следовательно, природно-мелиоративное районирование позволяет выявить повторяющиеся, наиболее типичные для данной

территории причины мелиоративной неустроенности и наметить комплекс мелиоративных мероприятий для их ликвидации.

При проведении границ природно-мелиоративных регионов особое внимание необходимо уделить рекам, так как при совпадении границ с реками облегчается решение задач не только чисто мелиоративного, но и водохозяйственного плана. При районировании большое внимание должно быть уделено также наименованию выделенных регионов. Название выделенной таксономической единицы должно отражать не только ее географическое местоположение, но и одну из причин ее мелиоративной неустроенности.

Работы по общему физико-географическому районированию могут быть использованы для определения потребности в том или ином виде мелиораций, однако природно-мелиоративное районирование требует дополнительных специальных исследований. Это вызвано тем, что основой физико-географического районирования служит, как правило, ограниченное количество природных факторов, которые считаются так или иначе ведущими и определяют причинность выделения таксономических единиц различного порядка. При природно-мелиоративном районировании требуется комплексный подход, что вызывает необходимость в более широком отражении основных природных факторов, так как мелиоративные объекты обычно представляют собой территории со сложными сочетаниями различных типов и разновидностей почв, с разнообразными рельефными, гидрологическими и гидрогеологическими условиями.

Попытку составить карту комплексного природно-мелиоративного районирования территории СССР первым сделал А. М. Шульгин [204]. В основу районирования он положил данные об основных закономерностях проявления на территории СССР неблагоприятных природных процессов и явлений: засух, суховеев, почвенной эрозии, засоления и др., а также карту комплекса основных видов мелиорации. В результате на территории СССР А. М. Шульгин выделил пять мелиоративных зон, 10 провинций и 26 районов. Мелиоративные зоны территориально близки к природным. На карте комплексного природно-мелиоративного районирования Шульгина показана не только необходимость, но и очередность проведения различного вида мелиораций.

На основе методик, изложенных в работах А. М. Шульгина [204], В. С. Аношко [12] и автора [131], составлена схематическая карта природно-мелиоративного районирования степной и лесостепной зон Среднего региона СССР (рис. 6.2). Каждой таксономической единице свойствен свой комплекс мелиораций (агротехнических, лесомелиоративных, гидротехнических, агрохимических и др.), проведение которых в определенных сочетаниях может быть весьма эффективным. При проведении того или иного комплекса мелиораций нужно учитывать особенности природной среды и в первую очередь рельеф, который влияет

гиона. При этом учтены также последние проработки В. А. Николаева [140] по геоморфологическому и И. Н. Угланова [184] по мелиоративному районированию Западно-Сибирской низменности.

На карте (рис. 6.2) показаны две мелиоративные зоны, крупные речные долины (азональные территории) и пять провинций (Европейская, Уральская, Тургайско-Туранская, Западно-Сибирская и Казахстанская). Методом сопряженного анализа выделен 21 природно-мелиоративный район. Эти районы выявляют основные пространственно-временные закономерности проведения мелиоративных мероприятий, показывают рациональное размещение различного вида мелиораций, а также режим и способы их осуществления. Этим самым дается научное обоснование основных мелиоративных мероприятий по улучшению природных комплексов, дифференцированных по отдельным частям региона. Следовательно, основой типизации и районирования территорий нового орошения должна явиться объективная оценка комплекса природных условий (ландшафтное районирование по Л. В. Дунину-Барковскому).

Мелиоративные зоны были выделены с учетом зонально-климатических особенностей, характера почвенного покрова, направлений сельскохозяйственного использования земель в перспективе и степени их освоенности в настоящее время.

Зона осушительно-увлажнительных мелиораций занимает в основном лесостепные районы с умеренно засушливым и умеренным климатом с обширными площадями солонцов и солончаковых почв. Доля мелиорируемых земель незначительна. В настоящее время здесь преобладает богарное земледелие. С учетом различий природно-мелиоративных условий на территории зоны выделены две провинции (Западно-Сибирская и Уральская), подразделяющихся на 12 мелиоративных районов.

Зона орошения охватывает степные и полуаридные районы рассматриваемого региона с засушливым умеренно теплым климатом. Ирригационные мероприятия в настоящее время здесь проводятся лишь на отдельных сравнительно небольших земельных массивах. Расширение орошаемых площадей в настоящее время лимитируется дефицитом водных ресурсов и возможно лишь при переброске части стока сибирских рек в Казахстан и Среднюю Азию. В пределах данной зоны выделены три провинции (Европейская, Тургайско-Туранская и Казахстанская), подразделенные на 9 мелиоративных районов.

Речные долины выделены как аazonальные территории в связи с неравномерным развитием гидрографической сети в пределах рассматриваемого региона, глубоким врезом в прилегающие плато и равнины, наличием мощных аллювиальных отложений в пойме и разнообразием почвенного покрова на различных элементах долинного рельефа.

Бедущими факторами при выделении провинции стали

Таблица 6.1

Легенда к схеме природно-мелиоративного районирования степной и лесостепной зон Срединного региона СССР

Провинция		Район		Грунтовые воды				Состав пород зоны аэрации	Основные типы почв**	Индексы основных мелиора- тивных мероприятий
название	индекс	название	индекс	Мощность покровной толщи, м	глубина залегания, м	Грунт- минерали- зация, г/л	тип химизма*			
I. Осушительно-увлажнительная зона										
Уральская	Б	Горно- лесной	Е-1	до 10	0—10	0,1— —1,2	$\frac{\text{гк}}{\text{Ca—Mg—Na}}$	Суглинки, супеси	Г _л , Г _т	Г _п К _п , О _з
		Заураль- ское пла- то	Б-2	до 10	3—10	0,2— —1,0	$\frac{\text{гк}}{\text{Ca—Mg—Na}}$	Суглинки (глины)	Г _л , Г _т	О _д , К _п , А
Западно- Сибирская	Г	Тоболо- Ишим- ский	Г-1	5—30	5—10	0,5— —20	$\frac{\text{гк}}{\text{Ca—Na}}$	Суглин- ки — гли- ны, пески	ч ^в , Л, с _п , ч _ю	О _д ′, А _х ′, Г _п ″, К _п ″
		Турин- ский	Г-2	5—20	3—10	1—5	$\frac{\text{хс}}{\text{Ca—Mg—Na}}$	Пески, глины, супеси	То же	О _д , А, Г _п , О _з
		Нижне- ишимский	Г-3	5—30	2—5 (8)	0,5—3	$\frac{\text{хгк}}{\text{Mg—Ca}}$	Суглинки, пески	ч, Л ^{сн} , ч ^в , с _п	О _д ′, О _л ′, К _п ″, К _с ″, А _х ″
		Северо- Казах- ский	Г-4	до 50	10—20	1—3	$\frac{\text{хкг}}{\text{Mg—Ca}}$	Пески глинистые, алевриты	ч _о , ч _ю , с _п , К ₂ ^с	О _д ′, А _х ′, К _п ′, К _с , Г _п ″, О _л ″
		Северо- Кулун- динский	Г-5	10—50	1—5	0,5—3	$\frac{\text{сх}}{\text{Ca—Mg—Na}}$	Суглинки (глины)	ч _л , с _п , ч, с _к	О _д ′, О _л ′, К _п ′, К _п ″
		Приоб- ский	Г-6	10—20	5—10	1—5	$\frac{\text{гк}}{\text{Ca—Mg}}$	Суглинки (глины)	ч _ю , ч ^о , ч ^в	О _д ′, О _л ′, Г _п ″, А _х ″

Европей- ская	А	Приволж- ско-Ураль- ский	А-1	до 20	0—5	до 5	$\frac{\text{гкс}}{\text{Ca—Na}}$
		Приураль- ский	А-2	до 15	5—10	до 5	$\frac{\text{гкх}}{\text{Ca—Na}}$
Уральская	Б	Южное Зауралье	Б-1	до 20	5—10	1—3	$\frac{\text{хгк}}{\text{Ca—Mg}}$
		Горный Южно- Уральский	Б-2	до 10	1—3	1—2	$\frac{\text{гкх}}{\text{Ca—Na}}$
Тургайско- Туранская	В	Предтур- гайский	В-1	5—20	5—10	0,5— —10	$\frac{\text{гк}}{\text{Ca—Mg—Na}}$
		Северо- Тургай- ский	В-2	10—20	5—10	0,5— —20	$\frac{\text{гк}}{\text{Ca—Mg}}$
				10—20	5—10	до 5	$\frac{\text{хс}}{\text{Ca—Na}}$
		Южно- Тургай- ский	В-4	10—15	3—10	до 5	$\frac{\text{хс}}{\text{Ca—Na}}$
Западно- Сибирская	Г	Приир- тышский	Г-1	до 20	3—10	0,5—1;	$\frac{\text{сгк}}{\text{Mg—Na}}$

Суглинки (глины)	$\text{ч}^{\text{Ю}}, \text{ч}^{\text{В}}$	$\text{O}'_{\text{д}}, \Gamma'_{\text{п}}, \text{A}''_{\text{х}}, \text{A}''_{\text{л}}$
Супеси	$\text{ч}^{\text{Ю}}, \text{ч}^{\text{В}}$	$\text{O}'_{\text{д}}, \text{O}'_{\text{л}}, \text{Л}', \text{A}''_{\text{х}}, \Gamma''_{\text{п}}$
Суглинки (пески)	$\Gamma_{\text{л}}, \Gamma_{\text{д}}, \text{ч}^{\text{В}}$	$\text{O}'_{\text{д}}, \text{A}', \text{Л}', \text{A}''_{\text{х}}, \Gamma''_{\text{п}}$
Суглинки, супеси	$\text{ч}^{\text{О}}, \text{ч}^{\text{Ю}}, \text{ч}_{\text{л}}$	$\text{O}_{\text{д}}, \Gamma_{\text{п}}, \text{A}$
Суглинки, пески	$\text{с}_{\text{н}}, \text{к}_2, \text{к}_2^{\text{с}}$	$\text{O}'_{\text{д}}, \text{Л}'', \text{A}_{\text{х}}, \text{K}''_{\text{п}}$
Пески, суглинки	$\text{с}_{\text{н}}, \text{к}_2, \text{к}_2^{\text{с}}$	$\text{O}'_{\text{д}}, \text{O}'_{\text{л}}, \text{K}'_{\text{п}}, \text{K}''_{\text{с}}, \text{A}_{\text{х}}, \Gamma''_{\text{п}}$
Пески глинистые, алевриты, глины	$\text{к}_2^{\text{с}}, \text{с}_{\text{п}}$	$\text{O}'_{\text{д}}, \text{O}'_{\text{л}}, \text{K}'_{\text{с}}, \text{A}'', \text{A}''_{\text{х}}$
Глинистые пески, алевриты, плотные глины	$\text{с}_{\text{к}}, \text{с}_{\text{н}}, \text{к}_2$	$\text{O}'_{\text{д}}, \text{A}', \text{A}_{\text{х}}, \text{O}''_{\text{л}}, \Gamma''_{\text{п}}$
Суглинки, глины	$\text{ч}_{\text{о}}, \text{ч}_{\text{к}}$	$\text{O}'_{\text{д}}, \text{K}''_{\text{с}}, \Gamma'_{\text{л}}, \text{Л}', \text{A}'', \text{A}''_{\text{х}}$

Провинция		Район		Мощность покроной толщи, м	Грунтовые воды			Состав пород зоны аэрации	Основные типы почв**	Индексы основных мелиора- тивных мероприятий
название	индекс	название	индекс		глубина залегания, м	минерализа- ция, г/л	тип химизма*			
Казахстан- ская	Д	Централь- но-Кулун- динский	Г-2	до 20	2—10	0,5—3	$\frac{\text{хгк}}{\text{Mg—Ca}}$	Пески, суглинки, супеси (переслаива- ются)	$\text{K}_1, \text{K}_2, \text{ч}^{10}, \text{с}_\text{н}, \text{с}_\text{к}$	$\text{O}'_\text{д}, \text{Г}'_\text{п}, \text{Л}', \text{A}''_\text{х}, \text{K}''_\text{с}$
		Приалей- ский	Г-3	10—50	3—10	1—3	$\frac{\text{хс}}{\text{Mg—Na}}$	Пески, супесь, суглинки	$\text{K}_1, \text{с}_\text{п}, \text{с}_\text{к}$	$\text{O}'_\text{д}, \text{Л}', \text{Г}_\text{л}, \text{A}''_\text{х}, \text{K}_\text{с}$
		Верхне- ишимский	Д-1	до 100	3—20	0,5—1	$\frac{\text{гк}}{\text{Na—Mg—Ca}}$	Суглинки, глины	$\text{ч}^\text{в}, \text{ч}^\text{сн}$	$\text{O}'_\text{д}, \text{O}'_\text{л}, \text{Г}'_\text{п}, \text{Л}'', \text{K}'', \text{C}''$
		Централь- но-Казах- ский	Д-2	до 20	3—8	1—5	$\frac{\text{Смешанный}}{\text{Na—Mg}}$	Глины, суглинки	$\text{K}^\text{с}_2, \text{K}_2, \text{ч}^{10}$	$\text{O}'_\text{д}, \text{Г}'_\text{п}, \text{K}''_\text{п}, \text{K}''_\text{с}$

* В числителе — анионы, в знаменателе — катионы, условные обозначения для анионов: гк — гидрокарбонатные; хгк — хлоридно-гидрокарбонатные; хс — хлоридно-сульфатные; гкс — гидрокарбонатно-сульфатные; сх — сульфатно-хлоридные.

** Индексы почв по легенде к Государственной почвенной карте СССР: Г_л — горные лесные, Г_ч — горные черноземы, Л₁ — светло-серые и серые лесные, ч^в — черноземы выщелоченные, ч¹⁰ — черноземы южные, ч⁰ — черноземы обыкновенные, ч^{сн} — черноземы солонцеватые малогумусные, ч^л — лугово-черноземные, к₁ — темно-каштановые, к₂^с — светло-каштановые солонцеватые, с_к — солонцы типичные, с_н — солонцы степные, к₂^с — светло-каштановые.

климатические, геоморфологические и почвенно-геологические условия. При выделении мелиоративных районов принимались во внимание местные зональные и аazonальные природные факторы, а также непосредственные интересы сельского и водного хозяйства, определяющие объем необходимых мелиоративных мероприятий.

При составлении карты* природно-мелиоративного районирования степной и лесостепной зон Срединного региона были использованы специальные карты: геоморфологические, климатические, природных зон, а также ранее составленные автором схемы природно-мелиоративного районирования Кулундинской степи и Южного Урала [131, 135].

Территория Европейской провинции занимает юго-западную часть степной зоны Срединного региона (западная часть Оренбургской области). Большая часть рассматриваемой территории лежит в пределах разнотравно-типчаково-ковыльной северной степи, меньшая — в типчаково-ковыльной южной степи. Преобладающие типы почв — черноземы (южные, луговые, выщелоченные). Провинция сравнительно хорошо обеспечена тепловыми ресурсами: сумма активных температур составляет 2300—2700°С. Радиационный баланс за год 35—40 ккал/см², а длительность безморозного периода 135—165 дней. Годовое испарение с поверхности почвенного покрова составляет 350 мм. В сухие весны здесь почвы довольно часто подвергаются ветровой эрозии (дефляции).

Увеличению урожаев здесь будут способствовать следующие основные агро-мелиоративные и гидромелиоративные мероприятия: регулярное орошение дождеванием, лиманное орошение; гидротехнические, противоэрозионные, агротехнические, агрохимические, лесомелиоративные. Основные цели мелиорации: увлажнение почв, борьба с дефляцией и засолением почв.

Уральская провинция занимает юго-восточные предгорья Урала в пределах Оренбургской и Челябинской областей. Северная часть этой территории занята березовой и дубравной лесостепью, южная — разнотравно-злаковой и типчаково-ковыльной степью. Почвенный покров разнообразен. Почвы под лесными колками — серые лесные, выщелоченные и оподзоленные черноземы, иногда подзолистые. Под степями развиты черноземные почвы (обыкновенные и южные).

Климат провинции типично континентальный, засушливый, с резко выраженными сезонами года. Годовой радиационный баланс составляет 30—35 ккал/см², средняя продолжительность безморозного периода 100—125 дней. Число дней в году со средней температурой более 10°С равно 125—135. Годовая сумма осадков 300—400 мм, из них за теплый период выпадает 200—350 мм. Зимы обычно малоснежные: средняя высота снежного покрова 30—50 см. Среднее годовое значение физического испа-

*- В составлении карты принимала участие Н. Н. Логинова.

рения 400—450 мм. Летом обычны длительные засухи, случаются суховеи и пыльные бури.

К числу эффективных мер борьбы с засушливостью климата относятся: орошение (дождевание), лесомелиоративные, гидротехнические, снежные и комплексные мелиорации и др. Главнейшие цели мелиорации: увеличение влажности почв, утепление почв зимой под озимыми культурами, борьба с солонцеватостью почв.

Турано-Тургайская провинция расположена в пределах Тургайского плато и Тургайской ложбины, вытянувшись меридионально широкой полосой к востоку от подножий Уральских гор. С севера на юг на территории провинции последовательно сменяются три природные зоны: лесостепная, степная и полупустынная.

Почвы лесостепи представлены черноземами обыкновенными и лугово-черноземными. В степной зоне преобладают средние и малогумусные южные черноземы, солонцы. В полупустынной зоне чаще всего встречаются темно-каштановые и каштановые почвы, солонцы и солончаки. Грунтовые воды встречаются обычно на глубине 5—10 м. Преобладают солоноватые и соленые воды пестрого химического состава с минерализацией 3—5 г/л.

Сумма активных температур здесь составляет 2200—2500° С, а продолжительность безморозного периода 120—130 дней. Годовое количество осадков 200—400 мм (лесостепная зона 300—400 мм, степная 250 мм, полупустынная 200 мм). Для степной и полупустынной зон характерны частые засухи и суховеи, повторяемость которых составляет 35—40% общего числа лет.

Главные цели мелиораций в провинции: всемерное накопление влаги, увлажнение почв и борьба с солонцеватостью почв. На почвах лесостепной и степной зон при учете климатических особенностей (тепловые ресурсы) и рациональном применении мелиоративных мероприятий можно получать высокие и стабильные урожаи, в том числе яровой пшеницы ценных сортов (сильных и твердых). Из мелиоративных мероприятий здесь целесообразно проводить лиманное орошение и регулярное орошение с помощью дождевания на базе переброски стока сибирских рек с учетом близкого залегания солей в почвах и возможности их поднятия. Эффективны здесь также агрохимические, гидротехнические и комплексные мелиорации.

Казахстанская провинция представляет собой систему разделенных долами и котловинами возвышенностей, скалистых нагромождений и холмистых гряд (мелкосопочник). Сложена постнеогеновыми морскими и континентальными глинами, песками и суглинками. Это — территория распространения разнотравно-типчаково-ковыльной северной и типчаково-ковыльной южной степи.

В почвенном покрове северной части провинции преобладают черноземы (обыкновенные, солоноватые и южные), в южной степной части — каштановые (темно-каштановые, светло-каштановые).

вые и солонцеватые). По тепловому режиму почв рассматриваемая территория резко отличается от Европейской. Почвы здесь промерзают до глубины 2 м, длительно находятся в мерзлотном состоянии.

Территория сравнительно хорошо обеспечена теплом: сумма активных температур составляет 2000—2100°С, а радиационный баланс за год 35 ккал/см². Годовая сумма осадков здесь не превосходит 250—300 мм, а за май—июнь 100 мм. Устойчивость атмосферного увлажнения здесь ниже, чем в северных и западных провинциях рассматриваемого региона. Здесь довольно часто бывают засухи, повторяемость которых составляет 45—50% общего числа лет. Кроме засух, затрудняющих развитие устойчивого сельскохозяйственного производства, неблагоприятными факторами являются пыльные бури, появляющиеся в сухие вёсны в северной части провинции.

Для повышения эффективности сельскохозяйственного производства, с учетом сложившегося комплекса природных условий, здесь целесообразно применять такие мелиоративные мероприятия, как регулярное орошение (дождевание), лиманное орошение, гидротехнические, лесомелиоративные и комплексные мелиорации на водосборах пресных и соленых озер. Основные цели мелиорации: увлажнение почв, борьба с дефляцией и засолением почв.

Западно-Сибирская провинция занимает обширную территорию, в которую входят Алейская, Ишимская и Кулундинская степи. Западная и северная части провинции находятся в пределах лесостепной зоны, а юго-восточная — в степной. Обширные пространства вдоль крупных рек Оби, Иртыша и Ишима заняты пойменными лесами и лугами. Основу рельефа Западно-Сибирской равнины составляют, по В. А. Николаеву [140], террасированные долины прарек и современных речных систем и приподнятые водоразделы, сложенные более древними отложениями.

Состав почв здесь весьма разнообразен. На территории лесостепной зоны преобладают серые лесные почвы, оподзоленные, выщелоченные и типичные черноземы. В степной зоне — черноземы обыкновенные и южные, темно-каштановые солонцеватые почвы. Повсеместно распространены солонцы и солончаки. По тепловому режиму почвы относятся к группе длительно сезонно промерзающих на глубину до 2—2,5 м.

Сумма эффективных температур в провинции составляет от 2000 (Приобское плато) до 2400—2500°С (Центральная Кулунда). Годовое количество осадков составляет от 250 до 350 мм, в том числе за май—июль 100—140 мм. Радиационный баланс за год равен 30—35 ккал/см², а продолжительность безморозного периода 115—125 дней.

Широкое распространение в провинции имеет как водная, так и ветровая эрозия (дефляция) почв. Часты здесь засухи и засухи. Повторяемость засух составляет 35—45% общего числа лет.

В системе мероприятий по интенсификации сельского хозяйства в этой провинции главное значение имеет внедрение правиль-

ных севооборотов, применение минеральных и органических удобрений, широкое использование специальных агрохимических, гидротехнических и агролесомелиоративных мероприятий. Главные цели мелиорации: дополнительное увлажнение почв, борьба с водной эрозией, дефляцией и засолением почв.

В поймах крупных рек Оби, Тобола, Урала и Иртыша (поймы крупных рек на карте обозначены индексами III-1, III-2 и т. д.) намечено проведение комплекса агротехнических, культуртехнических и осушительных мероприятий. Кроме того, в поймах Иртыша* и Тобола может быть с успехом осуществлено строительство пойменных лиманов для локального орошения сенокосов и пастбищ.

Дальнейшая задача природно-мелиоративного районирования в степной и лесостепной зонах Среднего региона СССР состоит в переходе к средне- и крупномасштабному районированию с выделением в пределах мелиоративных подрайонов более низких таксономических единиц.

6.4. Комплексное гидромелиоративное районирование Обь-Иртышского междуречья

На основе собранного фактического материала в процессе полевых экспедиционных работ автора в составе Кулундинской экспедиции Сибирского отделения АН СССР (1960—1966 гг.), Алтайской комплексной экспедиции МГУ (1967—1971 гг.) и экспедиции УралНИИВХ (1971—1982 гг.) проведено комплексное гидромелиоративное районирование Обь-Иртышского междуречья. Предварительные результаты этой работы и схема гидромелиоративного районирования Кулунды были опубликованы в журнале «Сельскохозяйственное производство Сибири и Дальнего Востока». В настоящее время эта работа уточнена и существенно дополнена новыми материалами исследований [133, 135].

Целью предложенного мелиоративного районирования является удовлетворение запросов сельскохозяйственного производства засушливой Кулундинской степи. Практическим выходом гидромелиоративного районирования являются рекомендации производственного характера, отражающие специфику развития орошения в весьма сложном регионе Обь-Иртышского междуречья, и в частности в Кулундинской степи. Схема районирования будет меняться в зависимости от уровня развития мелиоративной науки и экономических возможностей осуществления рекомендуемых мероприятий.

Предлагаемое районирование является комплексным. Оно основано на анализе и синтезе геологических, геоморфологических,

* В настоящее время проектный институт Омскгидроводхоз запроектировал лиманное орошение сенокосов и пастбищ в пойме р. Иртыша в Омской области, а Ленгипроводхоз — в Павлодарской области.

гидрогеологических, агроклиматических, агрометеорологических, почвенных и мелиоративных условий. Этим оно существенно отличается от ранее предложенных схем почвенно-мелиоративного районирования. В основу разделения территории Кулунды на мелиоративные районы и подрайоны автор положил комплексный коэффициент естественного увлажнения и геоморфологические особенности территории региона.

Как известно, для суммарной оценки гидротермического режима применяются показатели, которые учитывают основные факторы жизни растения — тепло и влагу. Довольно широкое распространение получил гидротермический коэффициент (ГТК) Селянинова. Однако оценка увлажнения по Г. Т. Селянину имеет целый ряд недостатков. Одним из основных недостатков ГТК является то, что он не учитывает годовой цикл осадков. Поэтому коэффициенты увлажнения, составленные в последние годы рядом исследователей [85, 178, 204] с привлечением данных о влажности почвы к началу сева, в некоторой степени лишены этого недостатка. При гидромелиоративном же районировании необходимо рассматривать влагообеспеченность не только территории в целом, но и по основным сельскохозяйственным культурам, которые требуют различного количества воды в вегетационный период.

Из сопоставления различных вариантов выяснилось, что условия формирования биологического урожая основной продовольственной культуры юга Западной Сибири, Урала и Северного Казахстана — яровой пшеницы — вполне удовлетворительно оцениваются комплексным коэффициентом естественного увлажнения

$$K_y = \frac{\mu_1 \sum x_1 + \mu_2 \sum x_2}{0,1 \sum t_{>10}}, \quad (6.1)$$

где $\sum X_1$ — сумма осадков от уборки культуры в предыдущем году до ее посева (в Кулунде этот период длится с октября по апрель); $\sum X_2$ — сумма осадков за май — июнь (для яровой пшеницы посев — начало колошения); μ_1, μ_2 — коэффициенты поглощения осадков за периоды октябрь — апрель и май — июнь соответственно (см. гл. IV); $0,1 \sum t_{>10}$ — сумма температур выше 10°C , уменьшенная в 10 раз (характеристика теплообеспеченности за май — июнь, т. е. на начало колошения яровой пшеницы).

Рассматривая урожайность Y яровой пшеницы в зависимости от основных параметров, составляющих коэффициент увлажнения, можно выразить ее как функцию трех переменных, т. е.

$$Y = \varphi(\mu_1 \sum x_1, \mu_2 \sum x_2, 0,1 \sum t_{>10}). \quad (6.2)$$

Запасы продуктивной влаги за октябрь — апрель ($\mu_1 \sum X_1$) и осадки за май — июнь ($\mu_2 \sum X_2$), как и любой другой агрометеорологический показатель в отдельности, плохо коррелируются с урожаем. Довольно тесная корреляционная связь получается при реализации уравнения (6.2), что может быть проиллюстриро-

вано следующими данными по метеостанциям Кулундинской степи (табл. 6.2).

Таблица 6.2

Коэффициенты корреляции между средним урожаем яровой пшеницы и количеством осадков в различные периоды вегетации (Обь-Иртышское междуречье)

Метеостанция	Природные условия	Коэффициенты корреляции между урожаем зерновых и эффективными осадками за период				Число лет
		май — август	май — июль	май — июнь	май — июнь и продуктивный запас влаги к началу сева	
Шербакты	Сухая степь	0,42	0,54	0,79	0,94	26
Ключи	Типичная степь	0,38	0,48	0,71	0,91	32
Родино	Южная лесостепь	0,36	0,29	0,64	0,84	32
Кочки	Северная лесостепь	0,21	0,22	0,56	0,81	28
Купино	Колочная степь	0,36	0,29	0,61	0,88	32

Из приведенных данных видно, что в целом за период вегетации, коэффициенты корреляции низки. Относительно выше они за май — июль, затем за май — июнь. Наблюдается тенденция к увеличению тесноты связи от северной лесостепи к сухой степи. Хорошая связь прослеживается между урожайностью яровой пшеницы и суммарными запасами влаги (продуктивные запасы к началу сева и эффективные осадки за май — июнь). Это и позволило автору выбрать данные параметры при расчете комплексного коэффициента естественного увлажнения.

Следовательно, комплексный коэффициент естественного увлажнения является аналитической формой связи элементов водного баланса с теплоэнергетическими ресурсами испарения и увлажненностью почвенного покрова, т. е. своего рода агрометеорологическим показателем степени засушливости территории. Он выражает связь между двумя основными компонентами водопотребления и само водопотребление (суммарное испарение), а также характеризует почвенно-мелиоративные особенности района. Применение комплексного коэффициента естественного увлажнения при гидромелиоративном районировании позволяет дифференцированно учитывать все факторы, влияющие на суммарное водопотребление и размер оросительной нормы (табл. 6.3).

Формой выявления ведущих природных факторов для комплексного гидромелиоративного районирования (кроме почвенно-климатических и гидрогеологических) послужили также материа-

лы по геоморфологическому районированию Обь-Иртышского междуречья. По мнению Т. В. Звонковой и В. А. Николаева [140], под инженерно-геоморфологическими показателями следует понимать количественные характеристики связей природных факторов с конкретными инженерными объектами. Связь между рельефом и оросительной сетью выражается показателями расчлененности рельефа, а также уклонов орошаемых массивов и общего уклона расчлененности рельефа и т. д. Поэтому автором при наименовании гидромелиоративных районов и подрайонов были учтены, в первую очередь, геоморфологические признаки.

Таким образом, наиболее крупными таксономическими единицами явились: 1) гидромелиоративный район; 2) гидромелиоративный подрайон. Гидромелиоративный район характеризуется общностью геоморфологического строения и почвенно-растительных сочетаний, а также геологических и гидрогеологических условий. Районы подразделяются на подрайоны с учетом варьирования почвенно-мелиоративных и гидрологических условий в пределах данного района.

Вся территория Обь-Иртышского междуречья разделена на пять гидромелиоративных районов и 25 подрайонов: I — Центрально-Кулундинская аллювиальная равнина (семь подрайонов); II — Павлодарская плоско-волнистая равнина (четыре подрайона); III — Прииртышская озерно-аллювиальная равнина (пять подрайонов); IV — Северо-Кулундинская гривно-озерная равнина (пять подрайонов); V — Приобская расчлененно-увалистая равнина (четыре подрайона).

Подробная характеристика двух из этих районов и подрайонов приведена в табл. 6.3. Для каждой таксономической единицы (района и подрайона) даны рекомендации по способам орошения, мелиоративным, противозерозийным и противодефляционным мероприятиям с учетом почвенно-рельефных и агроклиматических условий, а также наличия местных водных ресурсов.

На территории Обь-Иртышского междуречья наиболее перспективными для регулярного орошения являются следующие гидромелиоративные районы: Центрально-Кулундинская аллювиальная равнина, Павлодарская плоско-волнистая равнина и Приобская расчлененно-увалистая равнина. Орошение же других мелиоративных районов затруднено из-за слабой естественной дренированности. В этих районах желательно применять лиманное орошение (локально) и комплексные мелиорации на водосборах озер.

Развитие регулярного орошения на больших территориях с применением традиционных методов и способов полива в условиях степной засушливой зоны Среднего региона должно сопровождаться строительством систематического дренажа (горизонтального, вертикального или комбинированного). Без искусственного дренирования территории широкое развитие орошаемого земледелия здесь неизбежно приведет к развитию вторичного

Гидромелиоративное районирование Обь-Иртышского междуречья

Мелиоративные подрайоны	Общая площадь, тыс. га	Преобладающая абсолютная высота, м	Рельеф и микрорельеф	Преобладающий тип почв	Почвообразующая и подстилающая порода
1	2	3	4	5	6

I. Центрально-Кулундинская

Успенский	313,4	120—135	Волнисто-равнинный со слабовыраженным микрорельефом	Каштановые	Супеси, желто-бурые, карбонатные, пески желто-бурые, мелкозернистые с прослоями крупнозернистых
Славгородский	574,0	110—140	Слабоволнисто-равнинный	То же	Супеси желто-бурые, карбонатные; суглинки желто-бурые, карбонатные
Бурлинско-Славгородский	94,6	120—140	Слабоволнистый с ярко выраженным микрорельефом	Южные, черноземы и каштановые	Суглинки желто-бурые, карбонатные; пески мелкозернистые с прослоями крупнозернистых
Бурлинский	87,5	100—110	Плоскоповышенно-равнинный	То же	Суглинки желто-бурые, местами лессовидные; супеси желтые, карбонатные
Малоярвской	72,3	110—115	Слабоволнистый пониженный	Каштановые, южные черноземы	Супеси желтые, карбонатные, мелкопесчаные, средние и крупнопесчаные
Каипский	184,8	120—150	Волнисто-равнинный с резковыраженным микрорельефом	Солонцы, солончаки и каштановые	Супеси желто-бурые и палевые, карбонатные; суглинки желто-бурые

Таблица 6.3

(фрагмент из общей схемы)

Мелиоративные свойства почвогрунтов				Почвенно-грунтовые воды		
наименьшая влаго- емкость (мм) актив- ного слоя почвы		скорость впитывания, мм/ч		глубина залегания, м	плотный остаток, г/л	характер засоления (по К. В. Филатову)
0—60 см	0—100 см	за первый час	коэффи- циент фильтр.			
7	8	9	10	11	12	13

аллювиальная равнина

105,0	171,0	140	42	$\frac{5-10}{1-3}$	<1	Хлоридное, с участками сульфатных, содовых и гидрокарбонатных вод
109,0	175,0	120	30	$\frac{5-10}{1-5}$ и больше	<1	То же
113,0	188,0	100	25	$\frac{5-10}{1-5}$ и больше	<1, на отдельных участках 3—5	Гидрокарбонатное, с участками хлоридных, сульфатных и содовых вод
115,0	189,0	85	20	$\frac{3-5}{0,5-1}$	<1, на отдельных участках <3	Хлоридное, с участками сульфатных, содовых и гидрокарбонатных вод
111,0	179,0	100	28	$\frac{3-10}{0,5-3}$	<1, на отдельных участках <3	То же
—	271,0	35,7	7,2	$\frac{3-5}{1-2}$	<1, на отдельных участках 3—5	То же

Мелиоративные подрайоны	Общая площадь тыс. га	Преобладающая абсолютная высота, м	Рельеф и микрорельеф	Преобладающий тип почв	Почвообразующая и подстилающая порода
1	2	3	4	5	6

II. Приобская расчлененно-увалистая

Кучук-Кулундинский	113,4	100—110	Равнинно-пониженный со слабым микрорельефом	Солонцы и солончаки	Суглинки желто-бурые, карбонатные
Южноприобский	1246,9	160—300	Увалисто-равнинный и овражно-балочный с резко-выраженным мезорельефом	Выщелоченные и обыкновенные черноземы	Суглинки желто-бурые, карбонатные, местами лессовидные, в отдельных местах с прослоями песка
Баевский	743,8	180—240	Равнинно-пересеченный и овражно-балочный	Южные черноземы	Суглинки желто-бурые карбонатные; супеси желто-бурые, карбонатные, мелко-, средне- и крупнозернистые
Кочковский	1776,8	175—250	Увалисто-равнинный пересеченный и овражно-балочный с резковыраженным мезорельефом	То же	Суглинки желто-бурые карбонатные
Древние ложины стока и долины рек	965,2	160—220	Бугристо-грядовый с резко-выраженным мезорельефом	Боровые подзолистые почвы и луговые в долинах рек	Пески глинистые слюдяные

Мелиоративные свойства почвогрунтов				Почвенно-грунтовые воды		
наименьшая влаго- емкость (мм) актив- ного слоя почвы		скорость впитывания, мм/ч		глубина залегания, м	плотный остаток, г/л	характер засоления (по К. В. Филатову)
0—60 см	0—100 см	на первый час	коэф- фици- ент фильтр.			
7	8	9	10	11	12	13
равнина						
—	285,0	10,4	2,1	$\frac{3-4}{1-1,5}$	<3, на отдельных участках 3—5	На севере гид- рокарбонатное с участками хлоридных и сульфатных вод
234,0	388,0	97	42	$\frac{10}{3-5}$	<1,	Сульфатное, с участками гидрокарбонат- но-содовых вод
179,0	271,0	54	33	$\frac{5-10}{2-5}$	<1, <3	Сульфатное, с участками гидрокарбонат- ных и содовых вод
207,0	327,0	59	24	$\frac{10}{1-3}$	<1, <5	Гидрокарбонат- ное, с участка- ми хлоридных и сульфатных вод
—	—	—	—	$\frac{3-5}{0-3}$	<1 (прес- ные) <3 и <5 (средне- засолен- ные участ- ки)	Сульфатно- хлоридное

Мелиоративные подрайоны	Возможная площадь орошения, тыс. га				Водные ресурсы в средний по водности год, мм		Динамические запасы грунтовых вод в четвертичных отложениях, мм
	регулярное		лиманное орошение при обеспеченности		речной сток (по ГГИ)	местный сток (F=50 км²)	
	из р. Оби	за счет подземных вод четвертичных отложений	50%	25%			
1	14	15	16	17	18	19	20
I. Центральнo-Кулундинская							
Успенский	41,8	5,0	5,0	2,0	—	5,5	5,3
Славгородский	87,0	28,5	8,0	4,0	—	10,0	16,0
Бурлинско-Славгородский	17,2	3,5	3,0	—	2,3	13,8	9,1
Бурлинский	12,5	2,5	9,0	4,0	5,7	18,8	7,2
Малояровской	14,9	2,5	2,0	—	—	10,2	9,9
Каипский	20,1	10,5	2,5	1,0	—	10,3	24,5
Кучук-Кулундинский	29,3	6,0	4,5	2,0	2,4	13,0	22,1
II. Приобская расчлененно-увалистая							
Южноприобский	202,0	9,5	91,5	45,5	12,9	26,7	5,1
Баевский	125,9	—	82,5	40,5	10,5	29,6	5,4
Кочковский	60,4	—	103,5	52,5	6,9	33,3	3,6
Древние долины стока, долины рек	27,7	—	95,5	48,5	9,5	33,7	3,2

Примечание. 1. В 12-й графе минерализация <1 г/л относится к
 2. В 11-й графе в числителе приведена глубина залегания грунтовых вод
 3. Сток с площади водосбора 100 км^2 составляет 70%, а с площади водо

Способы орошения	Мелиоративные, противоэрозийные и противодефляционные мероприятия	Основная агроклиматическая характеристика гидромелиоративного района
21	22	23
аллювиальная равнина Дождование малыми поливными нормами (соплимент-ирригация)	Безотвальная пахота плоскорезами, полосное земледелие	Типчаково-ковыльная и разнотравно-типчаквая степь
Дополнительное «увлажнительное» орошение (соплимент-ирригация) Дождование, поверхностное орошение	Засев приборовых песков травами, посадка лесных полос, противофильтрационные мероприятия Вертикальный дренаж (комбинированное орошение), противофильтрационные мероприятия Редкий дренаж и борьба с солонцеватостью почв	$\sum t_{>10} = 2300 - 2250^\circ\text{C}$ $\sum t_{<-10} = -1900 \dots -2000^\circ\text{C}$ $X = 250 - 300 \text{ мм}$ $E_0 = 780 - 750 \text{ мм}$
Дождование, лиманное орошение	Противодефляционные и противофильтрационные мероприятия	$K_6 = 2,2$
Дождование (соплимент-ирригация)	Район ограниченного применения регулярного орошения с применением мер борьбы с солонцеватостью почв	$I = 0,41$
Выборочное орошение дождованием (локально)	Гипсование и другие химические мелиорации	ГТК = 0,3, продолжительность безморозного периода $T = 120 - 130$ дней
Не пригоден для орошения		$K_y = 1,05$
равнина Дождование и поверхностное орошение	Противоэрозийные мероприятия (пахота поперек склона, устройство микролиманов и др.)	Разнотравно-типчаково-ковыльные и разнотравно-ковыльно-типчаквые степи
Лиманное орошение	Противоэрозийные мероприятия	$\sum t_{>10} = 2200 - 2100^\circ\text{C}$ $\sum t_{<-10} = -1800 \dots -1950^\circ\text{C}$, $X = 350 - 300 \text{ мм}$, $E_0 = 700 - 620 \text{ мм}$
Выборочно поверхностное орошение, дождование	Противоэрозийные мероприятия	$K_6 = 1,6$, $I = 0,52$, ГТК = 0,6, $T = 125 - 115$ дней
Лиманное орошение (локально)	Комплексное использование местного стока	$K_y = 1,55$

пресным водам, 1—3 г/л — к слабозасоленным, 3—5 г/л — к средnezасоленным, на возвышенных местах, в знаменателе — в низменных.
сбора 200 км² — 60% величины, приведенной в 19-й графе.

засоления, а в некоторых случаях и к заболачиванию почвогрунтов приозерных понижений.

Перспективы широкого развития орошаемого земледелия в Кулундинской степи и задачи дальнейшего повышения сельскохозяйственного производства на этой территории — уникальным по природно-климатическим условиям обширном районе Западной Сибири — требуют постановки комплексных гидрологических и мелиоративных исследований для разработки новых методов и способов орошения, приемов освоения и мелиорации, эффективности применения различного вида дренажа в суровых климатических условиях Сибири, методов борьбы с ирригационной эрозией, дефляцией почв и др.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Агрометеорологические и климатические условия степной зоны Среднего региона СССР являются неблагоприятными для богарного земледелия и требуют широкого проведения агротехнических и мелиоративных мероприятий, в частности орошения. Мелиорации в степной зоне должны носить комплексный характер, т. е. выполняться при высокой агротехнике в сочетании с агролесомелиоративными мероприятиями. В случаях близкого залегания грунтовых вод регулярное орошение должно производиться при обязательном сооружении коллекторно-дренажной сети. Орошение сельскохозяйственных полей может осуществляться как за счет стока рек, так и за счет местного стока.

На основании анализа и обобщения многолетнего экспериментального материала по местному стоку можно заключить следующее:

а) основными факторами формирования весеннего стока в степной зоне являются снегозапасы, сложенные с весенними осадками, и осеннее увлажнение полуметрового слоя почвы;

б) весенний поверхностный сток малых временных водотоков в 3—5 раз превышает сток в русла рек;

в) весенний склоновый сток зависит от характера основной обработки почвы. Поперечная зяблевая вспашка в большей степени регулирует поверхностный сток, чем стерня и поля, занятые чистым паром;

г) весенний склоновый сток на содовых солончаках значительно больше, чем на глубокостолбчатых солонцах, и определяется в основном максимальными снегозапасами;

д) откачки подземных вод играют роль регулятора уровней грунтовых вод и служат для предотвращения вторичного засоления на орошаемых массивах.

Склоновый сток с малых водосборов в степной зоне формируется в основном за счет вод, стекающих с приводораздельной

и средней частей склонов. Поэтому рекомендуется эти части склонов использовать для лиманного орошения сенокосных и пахотных угодий.

Испарение с поверхности снежного покрова в условиях адвективного типа снеготаяния почти не происходит, так как в большинстве случаев конденсация преобладает над испарением. При солярном типе погоды в начале снеготаяния происходит испарение, а в конце — конденсация. Почвы, увлажненные до НВ, в мерзлом состоянии водонепроницаемы. Водопроницаемость мерзлых среднесуглинистых почв восстанавливается при влажности ниже 60—65% НВ. Потери весеннего стока на впитывание в оттаявшую с поверхности и в мерзлую слабоувлажненную почву могут быть определены по региональным формулам.

В условиях близкого залегания грунтовых вод (менее 3 м от поверхности) при орошении формируется ирригационный десуктивно-выпотный тип водного режима почв, что часто приводит к накоплению воднорастворимых солей в зоне активного корнеобитания. Создание благоприятного для растений водного режима орошаемых почв в таких условиях возможно лишь после проведения мероприятий, способствующих усилению дренированности территории.

Разработан новый метод оценки местного стока и предложена новая методика учета влияния изменчивости оросительных норм для случаев многолетнего и сезонного регулирования стока. В основу методики положен принцип получения оптимального количества сельскохозяйственной продукции независимо от водности года, что позволяет увеличить мощность оросительной системы на 30—40% и более.

Большое значение в управлении водным режимом орошаемых земель имеет применение тепловоднобалансового метода, разработанного в ГГИ. Он позволяет определить реальное участие грунтовых вод во влагообеспечении активного слоя почвы, обеспечивает более низкую себестоимость и сравнительно лучшую оперативность обслуживания орошаемых площадей.

Природно-мелиоративное районирование степной и лесостепной зон Срединного региона СССР выполнено на основе учета климатических, гидрологических, геоморфологических и почвенно-геологических условий, а также на основе учета интересов сельского и водного хозяйства, определяющих объем необходимых мелиоративных мероприятий.

* *
*

Автор считает, что изложенный в монографии материал далеко не исчерпывает всех возможностей детализации решения поставленной задачи гидрологического обоснования развития орошаемого земледелия в степной зоне Срединного региона СССР.

Дальнейшие исследования по рассматриваемой проблеме должны быть направлены на изучение водного режима почвогрунтов зоны аэрации на типичных в гидролого-мелиоративном отношении объектах с технически совершенными оросительными системами. Необходимо дальнейшее совершенствование методов прогноза водного режима орошаемых земель и уточнение закономерностей влагопереноса в комплексе грунтовые воды — почвогрунты зоны аэрации — растение — атмосфера.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абрамович Д. И., Милушина Р. Е., Мосиенко Н. А. Регулирование стока в озеро Бурлинское.— В кн.: Вопросы гидрологии. Новосибирск: Изд-во СО АН СССР, 1961, с. 75—84.
2. Аверьянов С. Ф. Борьба с засолением орошаемых земель.— М.: Колос, 1978.— 287 с.
3. Айдаров И. П., Голованов А. И. Борьба с засолением орошаемых земель.— В кн.: Оросительные системы.— М.: Колос, 1973, с. 128—172.
4. Акуленко Ю. Н. Основы мелиоративной гидрогеологии степного Алтая.— В кн.: Природные особенности мелиорации в степном Алтае. Красноярск: Изд-во СибНИИГиМ, 1979, с. 3—101.
5. Алексеев Г. А. Динамика инфильтрации дождевой воды в почву.— Труды ГГИ, 1948, вып. 6, с. 43—72.
6. Алексеев Г. А. Объективные методы выравнивания и нормализации корреляционных связей.— Л.: Гидрометеониздат, 1971.— 364 с.
7. Алексеева С. Ф. Засухи в Алтайском крае.— Вестник МГУ, сер. геогр., 1970, № 4, с. 12—18.
8. Алпатъев А. М. Влагообороты в природе и их преобразование.— Л.: Гидрометеониздат, 1969.— 323 с.
9. Алпатъев С. М. Поливной режим сельскохозяйственных культур в южной части Украины.— Киев, Изд-во МСХ УССР, 1965.— 88 с.
10. Андреев Н. Г., Афанасьев Р. А., Мерзлая Г. Е. Орошаемые культурные пастбища.— М.: Колос, 1979.— 365 с.
11. Андреева М. А. Озера Среднего Урала.— Челябинск: Южно-Уральское кн. изд-во, 1974.— 270 с.
12. Аношко В. С. Мелиоративная география Белоруссии.— Минск: Высшая школа, 1978.— 340 с.
13. Антошенков Ю. П., Мосиенко Н. А. Прогноз изменений почвенно-мелиоративных условий в зоне аэрации при орошении земель.— В кн.: Регулирование водного и солевого режима орошаемых земель Южного Урала. Красноярск: Изд-во СибНИИГиМ, 1982, с. 38—46.
14. Афанасик Г. И. Модель влагообмена в корнеобитаемом слое.— Сб. трудов по агроном. физике, 1971, вып. 32, с. 11—13.
15. Аханов Ж. У., Каражанов К. Д., Терехов Г. С. Эффективность орошения почв в Северном Казахстане.— Алма-Ата: Наука (Казахская ССР), 1979.— 132 с.
16. Багров М. Н., Кружилин И. П. Оросительные системы и их эксплуатация.— М.: Колос, 1971.— 208 с.
17. Бакаев Н. М. Почвенная влага и урожай.— Алма-Ата: Кайнар, 1975.— 136 с.
18. Басс С. В. Определение структуры речного стока по наблюдениям на стоковых площадках и малых водосборах.— Вестн. ЛГУ, сер. геогр., 1967, № 6, с. 28—36.
19. Баюшева М. И. Весенний склоновый сток с основных сельскохозяйственных угодий в Кулундинской степи.— Почвоведение, 1966, № 4, с. 28—32.
20. Безменов А. И., Галедин П. Ф., Пастухов В. Ф. Курсовое и дипломное проектирование.— М.: Колос, 1982.— 352 с.
21. Бейром С. Г. Гидрогеология Кулунды и прилегающих районов.— Новосибирск: Изд-во СО АН СССР, 1965.— 148 с.
22. Блохин Е. В. Некоторые составляющие водного баланса Илекской оросительной системы в Оренбургской области.— В кн.: Вопросы орошения и водного режима.— Саратов: Изд-во Саратовского СХИ, 1974, том. 10, с. 27—35.

23. Божко И. А. Орошение пшеницы Поволжья.— В кн.: Вопросы подъема производительных сил сельского хозяйства и развития орошаемого земледелия Поволжья. М., Колос, 1972, с. 47—54.
24. Богущевский А. А. Мелиорация в зоне многолетней мерзлоты.— М.: Колос, 1974.— 253 с.
25. Большаков А. Ф. Водный режим мощных черноземов.— М.: Изд-во АН СССР, 1961.— 214 с.
26. Бондаренко Н. Ф., Константинов А. Р. Пути оптимизации режимов орошения.— Гидротехника и мелиорация, 1980, № 6, с. 40—44.
27. Бондаренко Н. Ф. Физические основы мелиораций почв.— Л.: Колос, 1975.— 258 с.
28. Боровский В. М., Каражанов К. Д. Принципы мелиоративного районирования.— В кн.: Перспективы орошения в Среднем регионе СССР. М.: Наука, 1978, с. 78—88.
29. Будаговский А. И. Впитывание воды в почву.— М.: Изд-во АН СССР, 1955.— 136 с.
30. Будаговский А. И. Испарение почвенной влаги.— М.: Наука, 1964.— 224 с.
31. Булавко А. Г. Водный баланс речных водосборов.— Л.: Гидрометеоздат, 1971.— 304 с.
32. Бялый А. М. Водный режим в севообороте на черноземных почвах Юго-Востока.— Л.: Гидрометеоздат, 1971.— 232 с.
33. Введенская Э. Д. Формирование снегового склонового стока в условиях ЧЧО.— В кн.: М-алы совещ. по стоку речных водосборов.— Валдай, 1965, с. 152—158.
34. Величко Е. Б. Сельскохозяйственные мелиорации в Краснодарском крае.— Краснодар, 1969.— 224 с.
35. Вершинин А. П. Изменение гидрометеорологического режима под влиянием орошения.— Труды ГГИ, 1972, вып. 167, стр. 147—159.
36. Винокуров Ю. И. Перераспределение водных ресурсов Алтайского края и вопросы охраны природы.— В кн.: Водные ресурсы Алтайского края, их рациональное использование и охрана.— Барнаул, 1978, с. 16—20.
37. Водогретский В. Е. Влияние агролесомелиорации на годовой сток.— Л.: Гидрометеоздат, 1979.— 184 с.
38. Волков А. С. О репрезентативности лизиметрических наблюдений.— Труды ГГИ, 1971, вып. 170, с. 55—78.
39. Волковский П. А., Розова А. А. Практикум по сельскохозяйственным мелиорациям.— М.: Колос, 1979.— 239 с.
40. Вольфцун И. Б. О формировании стока талых вод в Кустанайской области.— Труды ГГИ, вып. 104, с. 47—59.
41. Воробьев О. Г., Прокофьева Т. И. Баланс грунтовых вод и прогноз его изменения на Ново-Троицком массиве орошения в Кулундинской степи.— Труды Ленгипроводхоза, 1976, вып. 5, с. 5—17.
42. Воронин Н. Г. Некоторые вопросы режима орошения кукурузы.— Труды Сар. СХИ, 1966, вып. 1, с. 74—88.
43. Воропаев Г. В. Единая водохозяйственная система страны.— Водные ресурсы, 1976, № 6, с. 99—109.
44. Воскресенский К. П., Куприянов В. В., Протасьев М. С. Ресурсы поверхностных вод р. Оби и Обь-Иртышского междуречья.— В кн.: Комплексное использование водных ресурсов Обского бассейна.— Новосибирск: Наука, 1970, с. 66—75.
45. Гаель А. Г. Промерзание и оттаивание почвогрунтов в Северном Приаралье.— Почвоведение, 1948, № 7, с. 26—32.
46. Галямин Е. П. Оптимизация оперативного распределения водных ресурсов в орошении.— Л.: Гидрометеоздат, 1981.— 287 с.
47. Гармонов И. В., Иванов А. В., Нефедова Е. И. Подземные воды юга Западно-Сибирской низменности и условия их формирования. М.: Изд-во АН СССР, 1961.— 198 с.
48. Гарюгин Г. А. Режим орошения сельскохозяйственных культур.— М.: Колос, 1979.— 268 с.

49. Герарди И. А. Воду сибирских рек — засушливым землям юга. — Гидротехника и мелиорация, 1972, № 12, с. 13—23.
50. Глобус А. М. Экспериментальная гидрофизика. — Л.: Гидрометеоздат, 1969. — 355 с.
51. Голованов А. И., Паласиос О. Об определении зависимости запасов почвенной влаги от глубины грунтовых вод. — Почвоведение, 1968, № 1, с. 101—105.
52. Голченко М. Г. Максимально возможное испарение и его внутригодичное распределение. — В кн.: Мелиорация и гидротехника. — Горки: Изд-во БСХА, 1970, с. 45—49.
53. Горшенин К. П. Почвы южной части Сибири. — М.: Изд-во АН СССР, 1955. — 591 с.
54. Горюнов Н. С. Орошение сельскохозяйственных культур и мелиорации засоленных земель в Казахстане. — Алма-Ата: Кайнар, 1970. — 152 с.
55. Грамматикати О. Г. Методика изучения доступности растениям почвенной влаги. — Почвоведение, 1969, № 7, с. 47—55.
56. Григоров М. С. Внутрипочвенное орошение. — М.: Колос, 1983. — 128 с.
57. Грин А. М. Динамика водного баланса ЦЧО. — М.: Наука, 1965. — 146 с.
58. Гринберг Я. Б., Мосненко Н. А. Регулирование стока на изменчивый водоотбор для нужд оросительных систем. — В кн.: Мелиорация земель Урала. Красноярск: Изд-во СибНИИГиМ, 1976, вып. 3, с. 101—105.
59. Давитая Ф. Ф., Мельник Ю. С. Проблема прогноза испаряемости и оросительных норм. — Л.: Гидрометеоздат, 1970. — 72 с.
60. Данильченко Н. В. Расчет режимов орошения сельскохозяйственных культур. — Гидротехника и мелиорация, 1978, № 1, с. 48—56.
61. Дерингер А. А., Кривенок И. В. Формирование ирригационного стока на оросительных системах и его влияние на водные ресурсы прилегающей территории. — В кн.: Водное хозяйство Урала. Красноярск: Изд-во СибНИИГиМ, 1981, с. 124—129.
62. Дерингер А. А. Тепловоднобалансовый метод расчета недостатков водопотребления сельскохозяйственных культур в условиях Южного Урала. — Труды ГГИ, 1981, вып. 269, с. 88—95.
63. Дмитриев В. С. Экономика производства зерна на орошаемых землях. — М.: Колос, 1973. — 286 с.
64. Долгов С. И. Исследования подвижности почвенной влаги и ее доступности для растений. — М.: Изд-во АН СССР, 1948. — 208 с.
65. Дроздов О. А., Григорьева А. С. Влагооборот в атмосфере. — Л.: Гидрометеоздат, 1963. — 314 с.
66. Дунин-Барковский Л. В. Физико-географические основы ирригации. — М.: Наука, 1976. — 298 с.
67. Емец В. П. Водный баланс орошаемых земель. — В кн.: Современные проблемы гидрологии орошаемых земель. М.: Изд-во МГУ, 1981, с. 87—95.
68. Егоров В. В. Засоленные почвы и их освоение. — М., 1954. — 112 с.
69. Журавлев М. З. Водный режим чернозема лесостепи Западной Сибири. — Труды Омского СХИ, 1959, т. 36. — 182 с.
70. Заводчиков А. Б. Особенности распределения и таяния снежного покрова в Северном Казахстане. — Труды ГГИ, 1960, вып. 33, с. 56—64.
71. Занин Г. В. Природное районирование территории нового освоения в Алтайском крае. — Изв. АН СССР, сер. геогр., 1965, № 2, с. 27—33.
72. Зиганшин А. А., Шарифуллин Л. Р. Рекомендации по программированию урожаев в Татарской АССР. — Казань, 1981. — 66 с.
73. Зузик Д. Т. Пути повышения экономической эффективности орошения. — В кн.: Комплексное использование водных ресурсов юга ЕТС. М.: Колос, 1979, с. 47—52.
74. Иванов А. В. Возможности орошаемого земледелия Алтайской Кулунды. — В кн.: Сельскохозяйственные мелиорации в Алтайском крае. М.: Изд-во МГУ, 1975, с. 69—77.
75. Иванов К. Е., Харченко С. И. Состояние вопроса и задачи регулирования испарения с почвы. — Валдай, Изд-во ГГИ, 1964, с. 185—208.
76. Игнатович А. И., Чураков Д. С. Научным исследованиям комп-

- лексную программу.—Земля Сибирская, Дальневосточная, 1982, № 9, с. 29—31.
77. Инструкция по проектированию лиманного орошения ВСН-11-24-75.— М., 1975.— 96 с.
 78. Ионат В. А. Расчет горизонтального дренажа в неоднородных грунтах.— Таллин, 1962.— 348 с.
 79. Калиев А. Ж., Степанова М. И. Влияние поливов сточными водами Оренбургского газоперерабатывающего завода на мелиоративное состояние земель.—Сб. науч. работ Саратовского СХИ, вып. 121, 1980, с. 62—70.
 80. Калюжный И. Л., Павлова К. К. Кристаллизационно-пленочный механизм миграции влаги к фронту промерзания почвы.—Труды ГГИ, 1980, вып. 268, с. 3—12.
 81. Карнацевич И. В., Мезенцев В. С. К вопросу об испарении со снежного покрова на территории Западной Сибири.—В кн.: География Западной Сибири. Новосибирск, 1969, с. 86—98.
 82. Каштанов А. Н. Защита почв от водной и ветровой эрозии.— М.: Россельхозиздат, 1974.— 206 с.
 83. Кац Д. М. Влияние орошения на грунтовые воды.— М.: Колос, 1976.— 270 с.
 84. Кван Р. А. К вопросу орошения сельскохозяйственных культур в Северном Казахстане.— Джамбул, 1982.— 18 с.
 85. Кельчевская Л. С. Методы обработки наблюдений в агроклиматологии.— Л.: Гидрометеиздат, 1971.— 216 с.
 86. Кистанов Н. С. Процессы засоления — рассоления и осолонцевания почв при лиманном орошении.— Труды ВолжНИИГиМ, 1970, т. 3.— 290 с.
 87. Клишко А. И. Влияние окультуренности пахотного слоя на водный баланс почвы.— Вестник сел.-хоз. науки, 1964, № 10, с. 44—48.
 88. Ковда В. А. Аридизация суши и борьба с засухой.— М.: Наука, 1976.— 272 с.
 89. Козин М. А. Водный режим почвы и урожай.— М.: Колос, 1977.— 304 с.
 90. Козменко А. С., Ивановский А. Д. Снеговой режим в Центральной лесостепи.— Гидротехника и мелиорация, 1952, № 12, с. 3—15.
 91. Комаров В. Д., Макарова Т. Т. О влиянии льдистости, температуры и глубины промерзания почвы на инфильтрацию талых вод.— Труды Гидрометцентра СССР, 1973, вып. 113, с. 76—85.
 92. Комлев А. М. Исследования и расчеты зимнего стока рек (на примере Западной Сибири).— Труды ЗСРНИГМИ, 1973.— 200 с.
 93. Константинов А. Р. Испарение в природе.— Л.: Гидрометеиздат, 1968.— 532 с.
 94. Константинов А. Р. Методы определения оросительных норм.— Водные ресурсы, 1976, № 6, с. 161—179.
 95. Корзун В. И. Сток и потери талых вод на склонах полевых водосборов.— Л.: Гидрометеиздат, 1968.— 169 с.
 96. Коронкевич Н. И. Преобразование водного баланса.— М.: Наука, 1973.— 120 с.
 97. Коробкова Г. В. Изменчивость годового стока рек Алтайского края.— В кн.: Водные ресурсы Алтайского края, их рациональное использование и охрана. Барнаул, 1978, с. 52—54.
 98. Костяков А. Н. Основы мелиорации.— М.: Сельхозгиз, 1960.— 621 с.
 99. Кочегаров Н. М. Лиманное орошение на Алтае.— Земля Сибирская, Дальневосточная, 1973, № 5, с. 42—45.
 100. Кочина П. Я., Мосиенко Н. А. Орошение подземными водами в Индии.— Гидротехника и мелиорация, 1962, № 8, с. 47—56.
 101. Кочина П. Я., Мосиенко Н. А., Щербань Е. В. Подземные воды Кулундинской степи и их использование для орошения.— Гидротехника и мелиорация, 1964, № 10, с. 34—42.
 102. Кружилин И. П. Оптимизация водного режима почвы для получения запланированных урожаев сельскохозяйственных культур.— Волгоград: Изд-во СХИ, 1980.— 32 с.

103. Кузник И. А. Орошение в Заволжье.—Л.: Гидрометеиздат, 1979.—153 с.
104. Кузьмин П. П. О расчетном и экспериментальном способах определения испарения с поверхности снежного покрова.—Труды ЗакНИГМИ, 1974, вып. 58 (64), с. 25—43.
105. Кулик М. С., Синельщиков В. В. Лекции по сельскохозяйственной метеорологии.—Л.: Гидрометеиздат, 1966.—367 с.
106. Ладыгин В. К., Разорвин И. В. Мелиорация в Прикамье.—Пермь: Кн. изд-во, 1976.—176 с.
107. Ларионов А. Г. Сельскохозяйственное освоение лиманов.—Сталинград: Кн. изд-во, 1957.—62 с.
108. Ларин И. В. Природные лиманы, их улучшение и рациональное использование.—Вестн. сел.-хоз. науки, 1955, № 7, с. 10—18.
109. Ларин П. А. Водопроницаемость мерзлых почв при различных приемах обработки.—Почвоведение, 1961, № 11, с. 27—33.
110. Лебедев Г. В. Импульсное дождевание и водный обмен растений.—М.: Наука, 1969.—276 с.
111. Левченко Г. П. Возвратные воды в условиях орошаемого земледелия.—В кн.: Современные проблемы гидрологии орошаемых земель. М.: Изд-во МГУ, 1981, с. 106—116.
112. Лысогоров С. Д., Ушкаренко В. А. Орошаемое земледелие.—М.: Колос, 1981.—382 с.
113. Львович М. И. Человек и воды.—М.: Географгиз, 1963.—567 с.
114. Львович М. И. Мировые водные ресурсы и их будущее.—М.: Мысль, 1974.—448 с.
115. Льгов Г. К. Интенсификация орошаемого земледелия.—Орджоникидзе: Северо-Осетинское кн. изд-во, 1975.—134 с.
116. Магакян Г. Л. Степь и вода.—М.: Мысль, 1977.—190 с.
117. Марков Е. С. Мелиорация пойм Нечерноземной зоны.—М.: Колос, 1973.—320 с.
118. Маслов Б. С., Станкевич В. С., Черненко В. Я. Осушительно-увлажнительные системы.—М.: Колос, 1981.—280 с.
119. Мезенцев В. С., Карнацевич И. В. Увлажненность Западно-Сибирской равнины.—Л.: Гидрометеиздат, 1969.—168 с.
120. Мещанинова Н. Б. Агрометеорологическое обоснование орошения зерновых культур.—Л.: Гидрометеиздат, 1971.—127 с.
121. Мичурин Б. Н. Энергетика почвенной влаги.—Л.: Гидрометеиздат, 1975.—140 с.
122. Мосиенко Н. А. Промерзание и оттаивание почв в условиях Кулундинской степи.—Почвоведение, 1957, № 1, с. 45—51.
123. Мосиенко Н. А. Лиманное орошение сенокосов и пастбищ в Кулундинской степи.—Вестн. сел.-хоз. науки, 1958, № 2, с. 92—99.
124. Мосиенко Н. А. Водопроницаемость мерзлых почв в условиях Кулундинской степи.—Почвоведение, 1958, № 9, с. 122—127.
125. Мосиенко Н. А. Склоновый сток на Приобском плато.—Метеорология и гидрология, 1958, № 6, с. 32—36.
126. Мосиенко Н. А., Павленко Г. В., Худомясова Ю. В. Испарение с поверхности снежного покрова в Западной Сибири.—Метеорология и гидрология, 1959, № 8, с. 24—27.
127. Мосиенко Н. А. Вопросы орошения и обводнения Кулундинской степи.—Гидротехника и мелиорация, 1962, № 5, с. 41—47.
128. Мосиенко Н. А. Орошение степи.—Новосибирск: Западно-Сибирское кн. изд-во, 1964.—120 с.
129. Мосиенко Н. А. К вопросу об использовании подземных вод для орошения и обводнения.—В кн.: Мелиорация и гидротехника. Минск: Изд-во БСХА, 1970, с. 83—90.
130. Мосиенко Н. А. Весенний склоновый сток с засоленных почв.—Метеорология и гидрология, 1971, № 5, с. 76—83.
131. Мосиенко Н. А. Агрогидрологические основы орошения в степной зо-

- не (на примере Западной Сибири и Северного Казахстана).— Л.: Гидрометеониздат, 1972.— 214 с.
132. Мосиенко Н. А. Тепловой баланс и водный режим орошаемого поля яровой пшеницы в условиях Алтайской Кулунды.— Водные ресурсы, 1974, № 4, с. 64—68.
 133. Мосиенко Н. А. Гидрологические особенности развития орошения в Кулундинской степи.— В кн.: Сельскохозяйственные мелиорации в Алтайском крае. М.: Изд-во МГУ, 1975, с. 55—68.
 134. Мосиенко Н. А., Дерингер А. А. Почвенная влага и урожай.— Челябинск: Южно-Уральское кн. изд-во, 1980.— 78 с.
 135. Мосиенко Н. А. Гидрологические особенности развития орошаемого земледелия в степной зоне.— В кн.: Регулирование водного и солевого режима орошаемых земель Южного Урала.— Красноярск: Изд-во СибНИИГиМ, 1982, с. 12—18.
 136. Мушкин И. Г. Методы оценки влагообеспеченности растений и сельскохозяйственных полей.— Л.: Гидрометеониздат, 1971.— 256 с.
 137. Назаров Г. В. Зональные особенности водопроницаемости почв СССР.— Л.: Изд-во ЛГУ, 1970.— 184 с.
 138. Назаров Г. В. Водопроницаемость почв Челябинской области как фактор формирования стока.— Изв. ВГО, т. 109, вып. 2. 1977, с. 173—176.
 139. Натальчук М. Ф. Эксплуатация оросительных систем.— М.: Колос, 1971.— 144 с.
 140. Николаев В. А. Рельеф и мелиорация южных равнин Сибири и Дальнего Востока.— В кн.: Проблемы прикладной геоморфологии. М.: Наука, с. 141—162.
 141. Носенко В. Ф. Техника импульсного дождевания.— М.: Колос, 1973.— 112 с.
 142. Орлов А. Д. Поверхностный сток талых вод и смыв почв в лесостепной зоне Западной Сибири.— В кн.: Эродированные почвы Сибири и пути повышения их производительности.— Новосибирск: Наука, 1977, с. 23—49.
 143. Орловский Н. В. Сезонная мерзлота и ее влияние на генезис и плодородие почв Сибири.— Почвоведение, 1970, № 10, с. 3—10.
 144. Островная Н. Н. Водные ресурсы районов лиманного орошения.— В кн.: Лиманное орошение. М., Колос, 1970, с. 5—24.
 145. Островский Г. М., Нестеров В. Ф. Водные ресурсы Тоболо-Ишимского междуречья.— В кн.: Труды IV Всес. гидролог. съезда, т. 2.— Л.: Гидрометеониздат, 1976, с. 227—233.
 146. Павленко Г. В. Весенний сток в Кулундинской степи, возможности его прогнозов и расчетов.— Новосибирск: Изд-во СО АН СССР, 1963.— 148 с.
 147. Панин П. С., Долженко И. Б. Процессы засоления и рассоления почв.— Новосибирск: Наука, 1976.— 176 с.
 148. Панфилов В. П. Физические свойства и водный режим почв Кулундинской степи.— Новосибирск: Наука, 1973.— 260 с.
 149. Перехрест С. М. Орошение земель Юга Украины.— Киев: Изд-во АН УССР, 1962.— 276 с.
 150. Петин Н. С. Физиология орошаемых сельскохозяйственных растений.— М.: Изд-во АН СССР, 1962.— 286 с.
 151. Плешаков А. А. Научные основы выращивания трав при лиманном орошении на местном стоке на Южном Урале и в Северо-Западном Казахстане. Автореф. дисс. на соискание учен. ст. д-ра сел.-хоз. наук.— М., 1981.— 32 с.
 152. Плиткин Г. А. Водный баланс Западной Сибири.— Труды ГГИ, 1976, вып. 228.— 246 с.
 153. Побережский Л. Н. Водный баланс зоны аэрации в условиях орошения. Л.: Гидрометеониздат, 1977.— 158 с.
 154. Полубаринова-Кочина П. Я., Пряжинская В. Г., Эмих В. Н. Математические методы в вопросах орошения.— М.: Наука, 1969.— 414 с.
 155. Разумихин Н. В. Некоторые вопросы формирования стока в Южном Заволжье.— Вестн. ЛГУ, 1956, № 24, вып. 4, с. 141—151.
 156. Режимы влагообеспеченности и условия гидромелиораций степного

- края/Мезенцев В. С., Карнацевич И. В., Белоненко Г. В. и др.—М.: Колос, 1974.— 240 с.
157. Рекс Л. М. Системное исследование мелиоративных процессов и систем, методология их проектирования. Автореф. дисс. на соискание уч. ст. д-ра техн. наук.—М., 1982.— 51 с.
158. Рогоцкий В. В. Исследование влагообмена в зоне аэрации и влагообеспеченности сел.-хоз. культур.—Труды ГГИ, 1971, вып. 198, с. 97—117.
159. Роде А. А. Основы учения о почвенной влаге.—Л.: Гидрометеониздат, 1965.— 663 с.
160. Решеткина Н. М. Прогноз гидрогеологических режимов в Поволжье в связи с развитием орошения.—Гидротехника и мелиорация, 1971, № 6, с. 27—32.
161. Роо С. С. Автоматизированная система управления сельскохозяйственных полей.—В кн.: Современные проблемы гидрологии орошаемых земель. М.: Изд-во МГУ, 1981, с. 141—156.
162. Русинов И. Ф. Мелиорация земель в Западной Сибири.—М.: Колос, 1975.— 158 с.
163. Сабиров М. С. Лиманное орошение.—Алма-Ата: Кайнар, 1966.— 172 с.
164. Сабо Е. Д. Склоновый сток на Ергенях.—Метеорология и гидрология, 1957, № 9, с. 24—29.
165. Саваренский А. Д. Система степного орошения.—В кн.: Кулундинская степь и вопросы ее мелиорации. Новосибирск: Изд-во СО АН СССР, 1972, с. 263—271.
166. Самуилов Ф. Д. Водный обмен и состояние воды в растениях.—Казань: Изд-во Казанского ун-та, 1972.— 279 с.
167. Саноян М. Г. Агрометеорологические и агрофизические принципы и методы управления влагообеспеченностью посевов.—Л.: Гидрометеониздат, 1982.— 296 с.
168. Сахончик В. П. Орошение на выщелоченных черноземах лесостепи Западной Сибири. Автореф. дисс. на соискание учен. ст. д-ра с.-х. наук.—Омск, 1974.— 32 с.
169. Селяков С. Н. Засоленность почв Кулунды.—В кн.: Кулундинская степь и вопросы ее мелиорации.—Новосибирск: Наука, 1972, с. 110—134.
170. Семенов В. А. Испарение и конденсация снега в условиях Центрального Казахстана.—Труды КазНИГМИ, вып. 18, 1963, с. 47—52.
171. Сенников В. А., Сляднев А. П. Агроклиматические ресурсы юго-востока Западной Сибири и продуктивность зерновых культур.—Л.: Гидрометеониздат, 1972.— 150 с.
172. Сеньков А. А. Сезонная динамика влагообмена между грунтовыми водами и зоной аэрации в Кулундинской степи.—В кн.: Особенности мелиорации земель Западной Сибири. Новосибирск: Наука, 1979, с. 183—190.
173. Сиротенко О. Д. Математическое моделирование водно-теплого режима и продуктивности агроэкосистем.—Л.: Гидрометеониздат, 1981.— 168 с.
174. Соколовский Д. Л. Речной сток.—Л.: Гидрометеониздат, 1968.— 540 с.
175. Сомова В. И. Природно-мелиоративные условия размещения и режима оросительных мелиораций.—В кн.: Сельскохозяйственные мелиорации в Алтайском крае.—М.: Изд-во МГУ, 1975, с. 48—54.
176. Степанов И. Н. Почвенные прогнозы. Последствия ирригационно-мелиоративных мероприятий.—М.: Наука, 1979.— 83 с.
177. Степанова М. И., Нестеренко Ю. М. Опыт орошения в Оренбургской области.—В кн.: Орошение и урожай. Оренбург: Южно-Уральское кн. изд-во, 1976, с. 123—127.
178. Струмилин С. Г., Лупинovich И. С. Естественно-историческое районирование.—М.: Изд-во АН СССР, 1947.— 242 с.
179. Субботин А. И. Ландшафтно-гидрологический принцип изучения стока.—В кн.: Ландшафтный сборник. М., 1973, с. 142—154.
180. Судницын И. И. Движение почвенной влаги и водопотребление растений.—М.: Изд-во МГУ, 1979.— 255 с.

181. Сухарев И. П. Регулирование и использование местного стока.— М.: Колос, 1976.— 272 с.
182. Талалаевский Г. В. Определение испаряемости на основе теории двухпредельности.— В кн.: Орошение сельскохозяйственных культур. Красноярск: Изд-во СибНИИГиМ, 1978, с. 3—16.
183. Тимченко Н. С. Использование местных водных ресурсов для орошения.— М.: Россельхозиздат, 1979.— 152 с.
184. Угланов И. Н. Мелиорируемая толща почв и пород юга Западной Сибири.— Новосибирск: Наука, 1981.— 192 с.
185. Феско-К. Я. Использование местного стока для орошения.— Барнаул, 1963.— 120 с.
186. Филимонов М. С. Орошение пшеницы.— М.: Колос, 1980.— 184 с.
187. Харченко К. И. Суммарное испарение с различных угодий при оптимальном увлажнении.— Труды ГГИ, 1962, вып. 82, с. 64—76.
188. Харченко С. И., Канн И. А., Левченко Г. П. Водно-солевой баланс орошаемых земель Южного Казахстана.— Труды ГГИ, 1972, вып. 199, с. 68—105.
189. Харченко С. И. Гидрология орошаемых земель. 2-е изд.— Л.: Гидрометеониздат, 1975.— 374 с.
190. Хоментовский А. С., Мосиенко Н. А., Савинский В. П. Орошение в условиях переброски стока сибирских рек.— В кн.: Орошение и урожай. Челябинск: Южно-Уральское кн. изд-во, 1976, с. 41—48.
191. Циприс Д. Б., Саноян М. Г. Двухстороннее регулирование водного режима почв.— Л.: Гидрометеониздат, 1978.— 184 с.
192. Чеботарев А. И., Воскресенский К. П., Бочков А. П. Ресурсы поверхностных вод Сибири.— Новосибирск, 1969.— 16 с.
193. Черняев А. М., Черняева Л. Е. Химический состав атмосферных осадков (Урал и Приуралье).— Л.: Гидрометеониздат, 1978.— 180 с.
194. Шабалин И. Н., Яблокова Л. П. Рекомендации по режиму орошения сел.-хоз. культур в Западной Сибири.— Новосибирск: Наука, 1979.— 64 с.
195. Шабанов В. В. Влагообеспеченность яровой пшеницы и ее расчет.— Л.: Гидрометеониздат, 1981.— 142 с.
196. Шавва К. И. Определение оптимальных параметров водохозяйственных объектов и рациональных схем использования водных ресурсов.— Фрунзе, Изд-во Кыргызстан, 1972.— 252 с.
197. Шатилов И. С., Чудновский А. Ф. Агрофизические, агрометеорологические и агротехнические основы программирования урожая.— Л.: Гидрометеониздат, 1980.— 320 с.
198. Шахов И. С. Водное хозяйство Среднего Урала и перспективы его развития.— Красноярск: Изд-во СибНИИГиМ, 1978.— 124 с.
199. Шаймиев М. Ш., Биктемиров У. А., Энвальд Н. Г. Орошаемые сенокосы и пастбища Татарии.— Казань: Татар. кн. изд-во, 1979.— 224 с.
200. Шикломанов И. А. Антропогенные изменения водности рек.— Л.: Гидрометеониздат, 1979.— 304 с.
201. Шнитников А. В. Внутривековая изменчивость общей увлажненности (очерки).— М.: Наука, 1969.— 246 с.
202. Штепа Б. Г. Прогрессивные способы орошения.— М.: Колос, 1975.— 52 с.
203. Шульга Н. К. Водный баланс при орошении дождеванием овощных культур.— Труды НИМИ, 1955, т. 5, с. 48—62.
204. Шульгин А. М. Мелиоративная география.— М.: Высшая школа, 1980.— 288 с.
205. Шумаков Б. А. Орошение в засушливой зоне Европейской части СССР.— М.: Россельхозиздат, 1969.— 169 с.
206. Шумаков Б. Б. Использование местного стока.— М.: Россельхозиздат, 1966.— 108 с.
207. Шумаков Б. Б. Гидромелиоративные основы лиманного орошения.— Л.: Гидрометеониздат, 1979.— 215 с.
208. Шумов В. А., Мосиенко Н. А. Исследование водопроницаемости обыкновенного чернозема при различной влажности.— В кн.: Мелиорация земель Урала. Вып. 2. Л., 1975, с. 112—115.

209. Яблокова М. М. Эффективность возделывания сельскохозяйственных культур на орошаемых землях в засушливой степи Алтайского края.— Томск: Изд-во Томского ун-та, 1980.— 219 с.
210. Blaney H. F., Criddle W. D. Determining water requirements in irrigated areas from climatological and irrigation data.— U. S. Depart. Agric. SCS, 1950, p. 12—19.
211. Croft A. R. Evaporation from snow.— Meteorol. Soc. Bull. 1944 vol. 25, p. 41—49.
212. Florell V. H. Basin listing to retain snow moisture.— Soil Con. U. S. Dep. Agr., Washington, 1937, vol. 3, № 7, p. 7—12.
213. Gardner W. R. Some observations on the movement of water to plant roots. — Agron. J., 1962, vol. 52, p. 157—168.
214. Green O. E. Factors influencing runoff.— Arg. Eng., 1965, vol. 36, № 11, p. 14—20.
215. Hari Lal Sally. Lining of earthen irrigation channels.— Bombay, 1965, p. 214.
216. Houk J. E. Irrigation Engineering. Vol. 1.— N. Y.— L., 1951, 545 p.
217. Koller H. On evaporation from snow surfaces.— Ark. Geophysik, 1950, Bd. 1, № 8, p. 17—22.
218. Philip I. R. The theory of infiltration.— Soil Sci., 1957, vol. 83, № 5, p. 345—358.
219. Richardson C. W., Ritchie J. T. Soil water balance for small watersheds.— ASAE, 1973, vol. 16, p. 72—77.
220. Thornthwait C. W., Holzman B. The determination of evaporation from land and water surfaces.— Month. Weather Rev., 1939, vol. 67, p. 4—11.
221. Tinker P. B. Transport of water to plant roots in soil.— L., 1976, vol. 273, № 927, p. 445—461.

ПРЕДМЕТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ

- Агрогидрологические константы 21,
22, 25, 81
Активный слой почвы 79, 102—106
Атмосферные осадки 13, 15, 55, 59
- Баланс**
— влаги 11, 12
— радиационный (тепловой) 12,
187—189
— уравнение 152, 163
Биологические коэффициенты 117
- Влагоемкость почв**
— наименьшая 21, 22
— общая 23
Влагообмен грунтовых вод 47
Влажность почвы
— дефицит 13
— завядания 21, 22
— замедления роста 21
— относительная 25
— разрыва капиллярной связи 21
— режим 20—23, 99—102
- Водные ресурсы**
— использование 98, 99
— поверхностные 4, 90, 92
— подземные 4, 90, 94—97
- Водный баланс**
— автоморфных почв 99
— орошаемого поля 100
— оросительных систем 111, 114
— уравнения 111—112
— элементы (составляющие) 112,
125
- Водопроницаемость**
— грунтов 24, 25
— почв 24—30
- Водохранилище**
— максимальная емкость 118, 119
— отдача 118
— регулирование 118—120
- Гидрографическая сеть**
— временная (лощинно-балочная)
50, 76
— постоянная (речная) 50, 76
- Глубина**
— активного слоя почвы 79
— промерзания почвы 9, 184—186
- Грунтовые воды**
— глубина залегания, 9, 184—186
— критическая глубина 34, 95, 130
— минерализация 169, 178
— отток 112
— подпитывание 40, 100
— уровень 4, 184
- Засуха** 189
Земледельческие поля орошения
122—127, 149
Зона аэрации 4, 34, 41, 147
- Инфильтрация**
— мерзлых почв 4, 55—60
— талых вод 25, 26—30
- Испарение**
— измерение 52
— интенсивность 52, 115
— с водной поверхности 11
— с растений (транспирация) 100
— с почвы (физическое) 100
— с поверхности снежного покро-
ва 52—54
— суммарное 12, 101, 115
Испаряемость 11, 12, 34
- Капиллярная кайма** 23
Климатические условия и их харак-
теристика 10—13
Конденсация 53, 100, 102
- Коэффициент**
— водопотребления 80, 138
— использования грунтовых вод
37—38
— использования осадков 108, 110
— множественной корреляции 73
— поглощения воды почвой 57
— поглощения осадков 109
— руслового стока 62, 64
— склонового стока 62, 64
— увлажнения 191
— фильтрации 26, 133
- Максимальные снегозапасы** 45
- Метод**
— аналогий 151
— водного баланса 151
— нормализации 73—74
— оценки объема местного стока
85
— тепловодно-балансовый 135,
137, 201
- Миграция влаги** 55, 60
- Норма**
— лиманного орошения 78, 80
— оросительная 101, 114, 138
— стока 87
- Орошение**
— влагозарядковое 42
— лиманное 41, 82
— регулярное 89

- степное 129—130
- Осадки**
 - за период снеготаяния 44
 - зимние (исправленные) 42
 - суммарные 11
- Осеннее увлажнение почвы 42
- Оттаивание почвы 30, 34, 56
- Площадки**
 - воднобалансовые 36
 - лизиметрические 36
 - стоковые 121
- Подземные воды 4, 177
- Потери весеннего стока
 - на аккумуляцию 43
 - на инфильтрацию 43
 - на испарение 45
- Почвы**
 - каштановые 14, 20
 - южные черноземы 14, 21
 - обыкновенные черноземы 21
 - солонцы 70—73
 - солончаки 70—73
- Прогноз**
 - вторичного засоления почв 160
 - изменения почвенно-мелиоративных условий 158
- Продуктивная влага 22
- Промерзание почвы 30, 32
- Районирование**
 - комплексное гидромелиоративное 190
 - лиманного орошения 85—87
 - по водным ресурсам 177
 - природно-мелиоративное 180
- Расход**
 - воды (при орошении) 100
 - грунтовых вод 39
 - суммарный 100
- Режим орошения**
 - проектный 128
 - эксплуатационный 128
- Ресурсы**
 - местного стока 91, 93
 - поверхностных вод 90
 - подземных вод 90, 94
- Снежный покров**
 - высота 46—51
 - испарение 52—54
 - плотность 62
- Снегораспределение 45—51
- Снеготаяние
 - интенсивность 45
- Солевой баланс**
 - метод 151
 - уравнения 152, 163, 165
 - элементы (составляющие) 152, 163
- Сток**
 - весенний 41
 - измерение 68
 - местный 84
 - обеспеченность 85, 146
 - регулирование 117, 120
 - русловой 64
 - с засоленных почв 70—73
 - с различных сельскохозяйственных угодий 67
 - с орошаемых земель 120
- Сточные воды**
 - использование 127
 - химический состав 124
 - эффективность 127
- Суммарное водопотребление (испарение) 138
- Увлажнение почв**
 - верхний предел 102
 - нижний предел 106—108
- Урожайность 107
- Факторы**
 - климатические 41, 42
 - физико-географические 41
- Шахтные воды 174**
- Эвапотранспирация 94**

ОГЛАВЛЕНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ	3
Глава 1. ФИЗИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ	6
1.1. Некоторые особенности природных условий	—
1.2. Проблема переброски стока сибирских рек в Срединный регион страны	15
Глава 2. ВОДНЫЙ РЕЖИМ ПОЧВОГРУНТОВ ЗОНЫ АЭРАЦИИ	19
2.1. Водно-физические и мелиоративно-гидрологические свойства почв	20
2.2. Водопроницаемость почв и грунтов	24
2.3. Промерзание и оттаивание почвогрунтов	30
2.4. Влагообмен грунтовых вод с зоной аэрации	34
Выводы	40
Глава 3. ГИДРОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ЛИМАННОГО ОРОШЕНИЯ	41
3.1. Основные факторы весеннего стока	—
3.2. Распределение снежного покрова на малом водосборе	45
3.3. Испарение со снежного покрова	52
3.4. Инфильтрация снеговых вод и миграция влаги в мерзлую почву	55
3.5. Склоновый сток снеговых вод	61
3.6. Весенний склоновый сток с различных сельскохозяйственных угодий	67
3.7. Сток с засоленных почв	70
3.8. Распределение поверхностного стока по основным элементам водосбора	75
3.9. Норма лиманного орошения	78
3.10. Расчетный объем стока для лиманного орошения	82
3.11. Принципы мелиоративного районирования лиманного орошения Выводы	85 88
Глава 4. АГРОГИДРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ОРОШАЕМОГО ЗЕМЛЕДЕЛИЯ	89
4.1. Ресурсы поверхностных и подземных вод и пути их исполь- зования для орошения	90
4.2. Водный баланс автоморфных почв при орошении	99
4.3. О глубине увлажняемого слоя почвы при орошении	102
4.4. Нижний предел увлажнения почв при орошении	106
4.5. О коэффициентах использования летних и осенне-зимних осад- ков на богарных и орошаемых землях	108
4.6. Водный баланс оросительных систем	111
4.7. Основные критерии регулирования стока при переменных оро- сительных нормах	117
4.8. Сток с орошаемых земель	120
4.9. Использование сточных вод для орошения сельскохозяйствен- ных культур в степной зоне	122
4.10. Агрогидрологические особенности развития орошения в степной зоне Кулундинского канала	128
4.11. Опыт внедрения в производство тепловодно-балансового метода	135
4.12. Агроэкономический аспект развития орошаемого земледелия в степной и лесостепной зонах	143
Выводы	149
Глава 5. ВОДНО-СОЛЕВОЙ БАЛАНС ОРОШАЕМЫХ ЗЕМЕЛЬ	150
5.1. Общие положения	—
5.2. Водно-солевой баланс орошаемых массивов	152
5.3. Прогноз изменения почвенно-мелиоративных условий в связи с перераспределением стока	158

5.4. Использование вод повышенной минерализации для орошения	169
Выводы	175
Глава 6. ГИДРОМЕЛИОРАТИВНОЕ РАЙОНИРОВАНИЕ	176
6.1. Сущность и состояние вопроса	—
6.2. Районирование по водным ресурсам и их возможному использованию	177
6.3. Природно-мелиоративное районирование	180
6.4. Комплексное гидромелиоративное районирование Обь-Иртышского междуречья	190
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	200
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	203
ПРЕДМЕТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ	212

Николай Александрович Мосиенко

АГРОГИДРОЛОГИЧЕСКИЕ
ОСНОВЫ
ОРОШЕНИЯ

*на примере
Западной Сибири, Урала
и Северного Казахстана*

Редактор З. Н. Пильникова. Художник Б. А. Бураков. Художественный редактор Б. А. Денисовский. Технический редактор Л. М. Шишкова. Корректор И. А. Динабург

ИБ № 1588

Сдано в набор 08.12.83. Подписано в печать 03.05.84. М-16412. Формат 60×90^{1/16}, бумага тип. № 1. Гарнитура литературная. Печать высокая. Печ. л. 13,5. Кр.-отт. 13,76. Уч.-изд. л. 16,17. Тираж 1700 экз. Индекс ПРЛ-117. Заказ 60. Цена 2 руб. 60 коп.

Гидрометеиздат. 199053. Ленинград. 2-я линия, 23.

Республиканская ордена «Знак Почета» типография им. Анохина Государственного Комитета Карельской АССР по делам издательств, полиграфии и книжной торговли. 185630. Петрозаводск, ул. «Правды», 4.