

Н. А. МОСИЕНКО АГРОГИДРОЛОГИЧЕСКИЕ
ОСНОВЫ ОРОШЕНИЯ
В СТЕПНОЙ ЗОНЕ

63

М 81

(НА ПРИМЕРЕ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ И СЕВЕРНОГО КАЗАХСТАНА)

263619



ГИДРОМЕТЕОИЗДАТ
ЛЕНИНГРАД • 1972

БИБЛИОТЕКА
Д. А. МОСИЕНКО
Гидрометеорологического

В монографии рассматриваются основные вопросы гидрологии и агрометеорологии орошаемых земель и особенности орошения степной зоны (на примере Кулундинской степи). Приводятся данные агрогидрологических и мелиоративных свойств почв и влагообеспеченности сельскохозяйственных культур, ресурсов поверхностных и подземных вод, намечаются пути их использования для орошения.

Излагаются гидрологические основы развития лиманного орошения на местном стоке, агрометеорологического обеспечения орошаемого земледелия и его эффективности, рассматривается комплексное гидромелиоративное районирование.

Для решения этих вопросов широко используются результаты экспериментальных гидрологических и гидромелиоративных исследований на территории Кулундинской степи, материалы гидрометеорологических наблюдений и другие данные.

Книга рассчитана на агрометеорологов, гидрологов, мелиораторов, географов, почвоведов, агрономов, а также на студентов сельскохозяйственных и гидрометеорологических вузов.

The monograph deals with elements of hydrology and agrometeorology of irrigated areas and with the problem of irrigation of heath zone (as an example Kulundinskaya stepp is taken). Hydrological characteristics of the soil, melioration factors, moisture availability, surface and underground water resources and their possible use for irrigation are considered. Hydrology of firth irrigation (based on the use of local runoff) is discussed as well as organization and efficiency of hydrometeorological service for agriculture. A complete hydro-meteorological classification of land for the purposes of melioration is made. The solution of the above problems is based on the results of experiments carried out in Kulundinskaya stepp and on data of hydrometeorological observations.

The book may be of interest to meteorologists, geographers, hydrologists, agronomists and irrigation engineers, it may be useful also to the college students in the appropriate fields.

*Книга подготовлена к изданию
комсомольско-молодежной бригадой
Гидрометеоиздата*

ПРЕДИСЛОВИЕ

Перспективным планом развития народного хозяйства предусмотрено к 1980 г. довести площадь орошаемых земель в СССР до 25—28 млн. га в основном за счет поливного земледелия в Поволжье, на Северном Кавказе, Украине, в Казахстане, Западной Сибири.

На территории Западно-Сибирской низменности имеется несколько засушливых районов, в том числе и Кулундинская степь. Она занимает равнинную часть Алтайского края, южные районы Новосибирской области и правобережье р. Иртыша в пределах Павлодарской области Казахской ССР.

В Кулундинской степи развито многоотраслевое сельское хозяйство (зерново-животноводческое). Хотя по площади Кулундинская степь занимает только 5% территории Западной Сибири (около 13 млн. га), на ней сосредоточено около 35% посевных площадей этой части Сибири и около 15% посевов яровой пшеницы в СССР. Этот район особенно нуждается в орошении и в нем имеются благоприятные условия для его развития.

Орошение в Кулунде осуществляется в настоящее время на сравнительно небольших площадях путем использования местного стока (лиманное орошение на Приобском плато), подземных вод (в Центральной Кулунде) и вод р. Иртыша в Павлодарской области Казахской ССР. В недалеком будущем, после строительства крупных оросительных систем с подачей воды из р. Оби, размеры орошаемых земель резко возрастут. Поэтому уже сейчас стоит задача — разработать и научно обосновать основные вопросы агрометеорологии и гидрологии орошаемых земель степной зоны.

В монографии анализируются природные условия Кулундинской степи, подтверждаются известные выводы о неблагоприятных агрометеорологических и климатических условиях богарного земледелия и о необходимости широкого внедрения влагорегулирующих агротехнических и мелиоративных мероприятий, в частности орошения. Приведены исследования агрогидрологических и мелиоративных свойств почвы, запасов продуктивной влаги за вегетационный период, а также расчет осеннего увлажнения почвы в естественных условиях.

Анализ материалов исследований речного стока, склонового стока, а также стока с малых водосборов позволил оценить ресурсы поверхностных и подземных вод, наметить пути их использования для орошения.

На основании установленных особенностей распределения снежного покрова по поверхности малых водосборов проведен расчет снегозапасов для характерных элементов рельефа малого водосбора, поверхностного стока с них и даны рекомендации по выбору расчетной обеспеченности стока при проектировании лиманов различного типа.

В книге приведены материалы агрогидрометеорологического обеспечения орошаемого земледелия, дифференцированного режима орошения основных сельскохозяйственных культур в зависимости от характера метеорологических условий года и уровня залегания грунтовых вод на орошаемых массивах, предложен новый метод оценки влагообеспеченности растений, изложены результаты исследований теплового баланса орошаемого поля основной культуры Кулундинской степи — яровой пшеницы.

В заключительных главах книги оценена роль орошения в подъеме сельского хозяйства и обоснована экономическая эффективность оросительно-обводнительных работ в степной зоне. Здесь же приводится методика комплексного мелиоративного районирования степной зоны.

Монография является результатом многолетних исследований автора по мелиоративной гидрологии степной засушливой зоны юга Западной Сибири и Северного Казахстана в составе Кулундинской экспедиции Сибирского отделения АН СССР (1953—1966 гг.) и Алтайской комплексной экспедиции МГУ (1967—1971 гг.).

В проведении полевых экспериментальных работ, кроме автора, принимали участие Н. Н. Афанасьева, М. И. Баюшева, Р. Е. Милушина, Г. В. Павленко, В. А. Постнов, М. Г. Саноян, А. Д. Саваренский, Е. В. Щербань, В. И. Слезко, Н. Н. Туранов, Л. В. Разгуляева.

Большую работу при подготовке материалов для книги выполнили Г. П. Пахомова, Л. З. Унт и Н. И. Филиппова. Автор глубоко благодарен всем участникам Кулундинской и Алтайской экспедиций за оказанную помощь.

Автор также выражает искреннюю благодарность П. Я. Полубариновой-Кочиной, Б. А. Шумакову, М. И. Львовичу, В. С. Мезенцеву, А. П. Слядневу и А. М. Шульгину, советы которых способствовали решению задач, поставленных в книге. Он пользуется случаем поблагодарить С. И. Харченко за большой труд по рецензированию монографии и научного редактора книги И. А. Кузника, чьи ценные замечания содействовали улучшению ее содержания.

ГЛАВА 1 ПРИРОДНЫЕ УСЛОВИЯ И ОСОБЕННОСТИ ОРОШЕНИЯ В СТЕПНОЙ ЗОНЕ

Кулундинская степь (Кулундинская провинция, по Н. А. Гвоздецкому и Н. И. Михайлову [48]) является одним из крупных сельскохозяйственных районов страны (рис. 1). Ведущее место в его экономике занимает сельское хозяйство, преимущественно

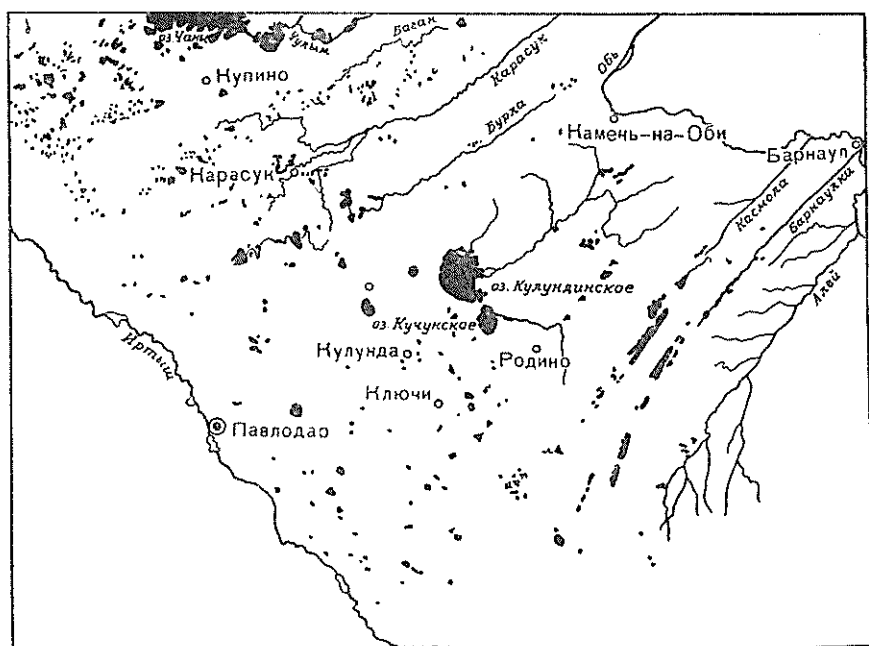


Рис. 1. Схематическая карта Кулундинской степи.

зерновое. По продукции зерна и главным образом пшеницы твердых и сильных сортов Кулунда занимает одно из первых мест в Сибири.

Перспективный план переброски стока сибирских рек в Казахстан и Среднюю Азию, а также строительство крупных оросительных систем в Кулундинской степи — уникальном по природно-климатическим условиям обширном сельскохозяйственном районе Сибири — требуют постановки экспериментальных гидрологических и агрометеорологических исследований.

1.1. Физико-географические условия

Рельеф и геоморфология. Абсолютные отметки в Кулундинской степи изменяются в пределах 100—300 м над ур. м. Территория постепенно понижается с востока и юго-востока (от 250—300 м над ур. м.) в направлении северо-запада и центральной части (до 100—150 м над ур. м.). На этой территории выделено несколько характерных геоморфологических районов: Приобское плато, Кулундинская аллювиальная равнина, Павлодарская, Прииртышская и Северо-Кулундинская равнины [50, 59, 75, 132].

Приобское плато занимает восточную и юго-восточную окраины Кулундинской степи. Абсолютные отметки здесь колеблются в пределах 170—300 м над ур. м. Плато расчленено древними речными долинами, узкие водоразделы которых вытянуты в юго-западном направлении.

Кулундинская аллювиальная равнина расположена в центральной части степи, с отметками местности 115—140 м над ур. м. Рельеф равнины с незначительным уклоном на восток и северо-восток; имеется множество озер, в той или иной степи минерализованных, встречаются водоемы с пресной водой.

Павлодарская равнина (плато) имеет высотные отметки 140—160 м над ур. м. Рельеф полого-волнистый, а в южной части местами дюнный. В отдельных замкнутых котловинах находятся озера.

Прииртышская пониженная равнина характеризуется высотами местности 110—125 м над ур. м. (с уклоном на запад и частично на север), а также большим количеством минерализованных озер. В северной части равнина пересечена руслом р. Бурлы с протоками.

Северо-Кулундинская равнина. Высотные отметки 105—110 м над ур. м. Восточная, Карасукско-Баганская, часть равнины изрезана лощинами и балками. В устьях рек Баган и Карасук образовалась дельта с многочисленными озерами и займищами. В западной части рельеф волнисто-равнинный, местами гривный. Древние речные долины вытянуты в юго-западном направлении. В них расположены ленточные боры, имеется множество пресных и минерализованных озер.

В. А. Николаев [161] составил геоморфологическую карту Кулундинской степи. Территорию древних озерно-аллювиальных равнин он разделил на четыре геоморфологических района, а территорию новейших аллювиально-озерных равнин — на шесть районов.

Приобское плато и древние долины стока Николаев выделил в особый геоморфологический район.

На поверхности Приобского плато имеются различные понижения просадочного происхождения. Это обстоятельство необходимо учитывать при проектировании и трассировке каналов оросительных систем.

Геология и гидрогеология. В геологическом строении Кулундинской степи участвует сложный комплекс рыхлых мезокайнозойских осадков, мощным плащом покрывающих породы палеозойского фундамента [162, 238].

В рыхлой толще мезокайнозоя (рис. 2) встречаются меловые, палеогеновые, неогеновые и четвертичные отложения. В разрезе этих отложений заключены верхнечетвертичные, среднепалеогеновые и меловые водоносные комплексы — всего около 15 водоносных горизонтов [1, 23, 47]. Подземные воды рассматриваемой территории напорные. Верхний водоносный горизонт слабо напорный или безнапорный. Минерализация грунтовых вод 0,3—2,5 г/л и редко превышает 3 г/л. Тип вод гидрокарбонатно-кальциевый, гидрокарбонатно-натриевый и сульфатно-натриевый [162].

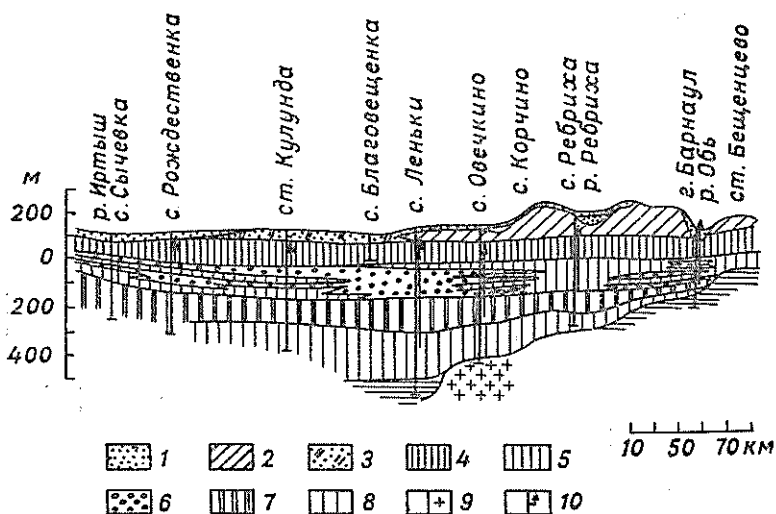


Рис. 2. Геологический разрез Кулундинской степи (по С. Г. Бейрому, Е. В. Михайловой).

1 — верхнечетвертичные делювиально-эоловые суглинки, пески, супеси и пески древних речных долин, 2 — средне-четвертичные суглинки и глины, 3 — нижне-четвертичные пески, 4 — плиоценовые глины и пески, 5 — миоценовые глины, 6 — миоценовые пески с прослоями алевролита, 7 — палеогеновые глины, супеси, 8 — меловые глины, 9 — палеозойские глинистые сланцы, граниты, 10 — уровень подземных вод в буровых скважинах.

Для орошения центральной части Кулундинской степи перспективным является нижнечетвертичный (кулундинский) водоносный комплекс, включающий два-три регионально взаимосвязанных водоносных горизонта [109]. Основными водоносными породами 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 [238].

Климат. Климатические условия Кулундинской степи отличаются континентальностью и засушливостью. Зима продолжительная и холодная. В октябре отмечаются заморозки, хотя среднемесячная температура 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 непродолжительное. Самым жарким месяцем является июль со среднемесячной температурой 19—21° С.

Суммы температур за вегетационный период колеблются в среднем от 2300 до 2800° С, а суммы температур выше 10° С — показатель возможности созревания основных сельскохозяйственных культур — составляют 2000—2600° С [209].

Среднегодовое количество осадков увеличивается от 220—250 мм на юго-западе до 350 мм на северо-востоке. В отдельные годы осадки варьируют от 110 до 400 мм. За май—август выпадает в среднем 120—180 мм. Наименьшее количество осадков (30—70 мм) приходится на январь—март.

Распределение осадков за период вегетации крайне неравномерное. В первую половину вегетационного периода (май—июнь), когда растения особенно нуждаются во влаге, выпадает только 50—70 мм, а иногда и менее (табл. 1).

Таблица 1

Количество осадков по периодам года (по А. П. Слядневу)

Метеостанция	Начало вегетации (V—VI)		Формирование урожая (VII)		Теплый период (IV—X)		Холодный период (XI—III)		Год
	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	276
Родино	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

В сильно засушливые годы (например, 1962, 1963 и 1965 гг.) общая сумма осадков снижается до 120—150 мм. Максимум осадков в такие годы невыгодно смещается с июля на август. Увеличение осадков в августе не может существенно влиять на низкие урожаи зерновых культур. Во влажные годы с большей суммой годовых осадков наблюдается возрастание их во все сезоны, особенно в мае и июне.

В соответствии с гидролого-климатическим районированием, произведенным В. С. Мезенцевым [135, 136] и А. П. Слядневым [209], северо-восточная часть Кулундинской степи входит в зону недостаточного увлажнения (лесостепь) и избыточной теплообеспеченности, а южная и юго-западная части — в засушливую зону (полупустынная и сухая степь) с избыточной теплообеспеченностью. Граница между этими зонами практически совпадает с границей Приобского плато и Центрально-Кулундинской аллювиальной равнины.

Характеристика условий увлажнения за отдельные периоды года может быть получена по методу В. С. Мезенцева [135] с учетом

перераспределения во времени влаги, поступившей в почву (табл. 2). Как видно из таблицы, дефицит увлажнения изменяется в средний год от 112 мм в Баево до 223 мм на Михайловском содокомбинате. В среднесухой год дефицит увлажнения почвы летом составляет 220 мм в Баево и 328 мм в Угловском, Михайловском и в Кулунде. Влажность активного слоя почвы снижается до влажности завядания.

Таблица 2

Характеристика естественного увлажнения Кулундинской степи за май—август

Метеостанция	Средний год (обеспеченность 50%)						Среднесухой год (обеспеченность 75%)	
	количество осадков (X мм)	максимально возможное суммарное испарение (Z_m мм)	фактическое суммарное испарение (Z_0 мм)	$\frac{Z_0}{Z_m}$	влажность почвы в долях наименьшей влагоемкости (V_{cp})	дефицит увлажнения почвы (ΔZ мм)	дефицит увлажнения почвы (ΔZ мм)	влажность почвы в долях наименьшей влагоемкости (V_{cp})
Карасук	165	500	237	0,47	0,62	—160	—277	0,43
Краснозерское	199	471	249	0,53	0,68	—124	—236	0,50
Купино	215	492	254	0,52	0,66	—137	—254	0,47
Баево	215	476	269	0,56	0,71	—112	—220	0,52
Волчиха	153	502	222	0,44	0,62	—165	—264	0,46
Родино	192	530	263	0,50	0,63	—169	—304	0,39
Хабары	203	480	255	0,53	0,63	—128	—243	0,49
Камень	199	471	249	0,53	0,68	—124	—236	0,50
Ключи	172	540	222	0,41	0,56	—205	—322	0,36
Кулунда	150	546	233	0,43	0,58	—199	—328	0,36
Михайловский со- докомбинат	170	513	183	0,35	0,51	—223	—328	0,35
Славгород	171	540	224	0,41	0,57	—204	—312	0,38
Угловское	161	538	218	0,41	0,56	—209	—328	0,35

Таким образом, растения в Кулундинской степи испытывают избыток тепла и недостаток продуктивной влаги не только в сухой, но и в средний по влажности год. Для приведения баланса влаги и тепла в соответствие с оптимумом здесь необходимо орошение. Ориентировочными оросительными нормами для Кулундинской степи можно считать величины дефицитов увлажнения для среднесухого года (обеспеченность 75%).

Минимум относительной влажности наступает в мае—июне (42—47%), а максимум—в декабре (80—85%). При суховеях, которые часто сопутствуют засухе, относительная влажность воздуха понижается до 10—30% и менее. По многолетним данным метеостанций, иногда в течение месяца бывает 5—10 суховейных дней.

Глубина проникновения отрицательных температур в почвогрунт, по нашим исследованиям [143], составляет под естественным покровом 150—180 см, под оголенной поверхностью 250 см, а в отдельные годы 300 см и более.

Растительность и почвенный покров. Растительность Кулундинской степи разнообразна. В юго-западной и западной частях ее расположена степь, а на остальной территории лесостепь. Южная граница распространения лесных колков проходит по линии с. Качиры — оз. Бурлинское — оз. Малое Яровое — Кулундинское озеро. На Приобском плато растительность встречается в западинах, логах и в верховьях временных водотоков. В древних лощинах стока располагаются ленточные сосновые боры шириной от 10 до 40 км. Образование ленточных боров в долинах степных рек (Касмалы, Барнаулки, Кулунды, Бурлы) можно объяснить тем, что на глубине 2—3 м от поверхности залегают пресные слабoproточные грунтовые воды [152]. Растительный покров представлен разнотравно-типчаково-ковыльными и злаково-разнотравными ассоциациями. Понижения заняты злаково-разнотравными лугами, иногда встречаются участки галофитов.

В Центральной Кулунде растительный покров представлен типчаково-ковыльными ассоциациями с небольшой примесью степного разнотравья.

Почвы в Центральной Кулунде темно-каштановые и каштановые, супесчаные, легкосуглинистые и суглинистые. На Приобском плато господствует южный чернозем малогумусный, среднемощный, суглинистый. В широких предбалочных понижениях среди южных черноземов встречаются лугово-степные солонцы. По широким днищам балок — лугово-солончаковые почвы.

В Северной Кулунде почвы пестрые. Многочисленные мелкие гривы заняты маломощными черноземами [173]. В широких межгривных понижениях имеются солонцы и засоленные почвы — солоды. В западной части понижения заняты солонцами, маломощными черноземами и отчасти каштановыми почвами.

На Прииртышской пониженной равнине происходит смена почв с севера на юг. На севере развиты среднемощные обыкновенные черноземы, на юге господствуют маломощные черноземы, встречаются и каштановые почвы.

Во всей Кулундинской степи встречаются засоленные почвы. По данным В. В. Егорова [69], В. А. Ковды [93], П. С. Панина [171], неравномерное распределение солей в почве определяется общим направлением уклона поверхности. Вследствие этого засоление больше всего выражено в северо-западной части Кулундинской степи и в местных понижениях рельефа. При проектировании регулярного орошения следует учитывать особенности солевого режима почв.

1.2. Особенности орошения в степной зоне

Внутригодовое распределение осадков в степных районах Кулундинской степи, как уже было отмечено, крайне неравномерно. В первой половине вегетационного периода (май—июнь) сумма осадков весьма мала. Поэтому важное значение приобретает снегозадержание в зимний период и накопление снеговых вод с помощью лиманного орошения.

Значительная изменчивость осадков по годам и даже в течение года определяет характер регулярного орошения в Кулунде. В пустынных и полупустынных районах, где осадков выпадает меньше, чем в засушливых районах, но также меньше их изменчивость, орошение необходимо, причем режим его из года в год более или менее одинаков. В Кулундинской степи режим орошения каждой культуры меняется в зависимости от степени засушливости года, так как оросительная вода является лишь дополнением к сумме полезных осадков. В этом районе засушливые годы чередуются с многоводными, когда естественные осадки обеспечивают получение высоких урожаев полевых культур иногда даже без полива, т. е. потребность в орошении здесь зависит от погодных условий каждого года. Проектный режим орошения обычно разрабатывается для так называемого острозасушливого года (обеспеченность 95% по сумме осадков) с учетом того, что оросительная система будет обеспечена водой в любые иные по сумме осадков годы.

В зонах недостаточного и неустойчивого увлажнения режим орошения должен быть переменным с учетом естественного увлажнения каждого года, а также 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 установлении норм и сроков поливов следует учитывать количество атмосферных осадков за вегетационный период. В Кулундинской степи осадки величины 5—10 мм мало влияют на срок очередного полива. Осадки 15—25 мм отодвигают очередной полив на 4—5 дней, а 25—30 мм — заменяют очередной полив для ряда культур.

Большое влияние на режим орошения оказывают также гидрогеологические условия орошаемых земель. Глубина залегания грунтовых вод (верховодка) и степень их минерализации играют важную роль в установлении поливных норм и частоты поливов. При близком залегании грунтовых вод с учетом почвенных условий и подстилающих грунтов поливные и оросительные нормы могут быть уменьшены.

Необходимость регулярного орошения в Кулундинской степи 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.

Задача развития орошения в этих условиях заключается не в замене на значительной площади богарного земледелия орошаемым, а в установлении наиболее целесообразного и эффективного сочетания поливов с агротехническими мероприятиями по повышению культуры земледелия [78].

1.3. Повторяемость засух и их влияние на урожайность сельскохозяйственных культур

Развитие сельского хозяйства в Кулундинской степи тормозят часто повторяющиеся засухи. Из последних 25 лет 12 были засушливыми и острозасушливыми.

Засухи и суховеи — это бездождие, сопровождающееся повышенной температурой и очень низкой влажностью воздуха [10, 118, 213 и др.]. Установлены типы засух и вероятность их появления в разных районах страны [65, 74, 80, 119, 190 и др.]. Подробное описание очень сильной засухи 1963 г. и особенностей атмосферного увлажнения на юге Западной Сибири приводится в последних работах А. П. Сляднева [209, 210].

В разных типах засух может изменяться соотношение тепла и влажности в приземном слое воздуха, но всегда сохраняется значительное преобладание теплоэнергетических ресурсов над количеством тепла, необходимого для испарения выпавших осадков. Многочисленные попытки ученых отыскать закономерную периодичность засух пока не привели к желаемым результатам [119].

Многолетние наблюдения над осадками показывают (рис. 3), что иногда засуха наблюдается в течение одного года (1955), а иногда — в течение нескольких лет (1961, 1962, 1963 гг.). Следовательно, о возможности наступления засухи в Кулундинской степи нельзя судить по предшествующим годам.

Но и в так называемые средние и даже влажные годы растения иногда испытывают недостаток влаги. В редкие годы метеорологические условия благоприятны для нормального развития растений. Как показывают материалы наблюдений (табл. 3), только 2—3 года из 10 относительно хорошо обеспечены осадками, остальные в той или иной мере засушливые, из них 4—5 лет сухие и острозасушливые.

Таблица 3

Обеспеченность осадков в Кулундинской степи за вегетационные периоды 1954—1963 гг.

Метеостанция	Количество лет из 10 с суммой осадков за вегетационный период (мм)				
	< 100	101—150	151—200	201—250	> 250
Ключи	3	1	5	0	1
Купино	0	1	4	2	3
Славгород . .	5	1	2	2	0
Родионо . . .	3	1	4	1	1

Имеющиеся за 72 года (1899—1970) данные свидетельствуют о том, что урожай яровой пшеницы снижается до 3 ц/га и менее один раз в 4 года (повторяемость 22%, табл. 4).

Анализ имеющихся материалов о средней урожайности яровой пшеницы в зависимости от осадков за вегетационный период по-

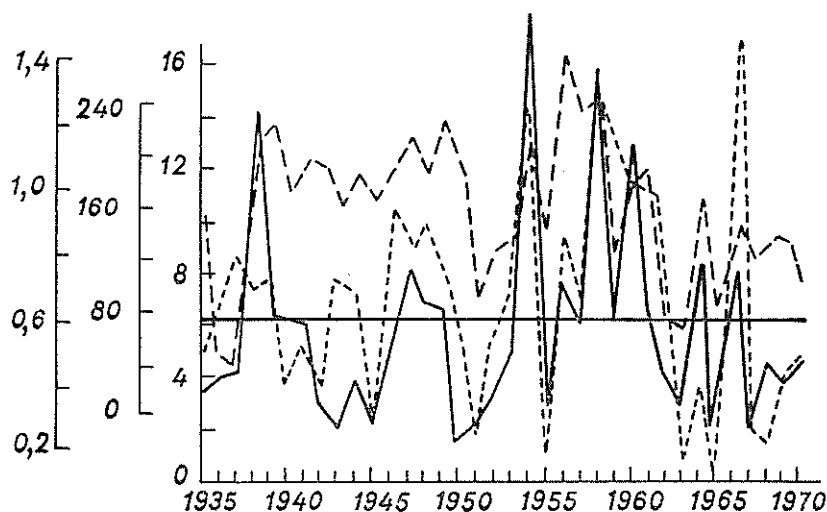
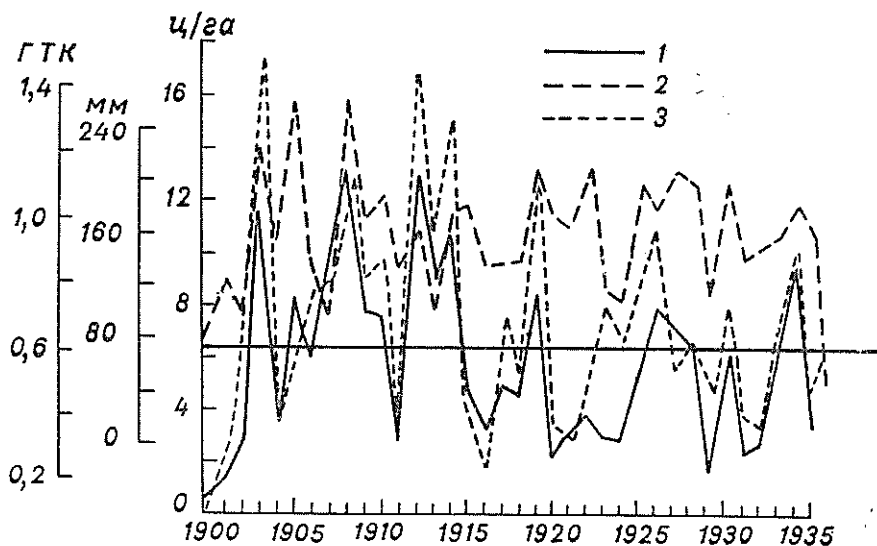


Рис. 3. Урожайность (ц/га) яровой пшеницы (1), количество осадков (мм) за период вегетации (2) и ГТК за май-июнь (3) в Центральной Кулунде.

Линия, параллельная оси абсцисс, — средняя урожайность (6,4 ц/га).

казал, что каждые 10—15 мм дополнительной влаги в среднем повышают урожай яровой пшеницы на 1 ц. Особенно тесная корреляционная связь (коэффициент корреляции 0,79) прослеживается между урожайностью яровой пшеницы и количеством осадков за май—июнь. Некоторое нарушение этой связи в отдельные годы может быть объяснено условиями формирования запасов продуктивной влаги в почве в осенний период предыдущего года.

Повторяемость лет с различной урожайностью яровой пшеницы
за период с 1899 по 1970 г. в Центральной Кулунде

Годы	Сумма осадков за период вегетации (мм)	Урожайность (ц/га)	Количество лет	Повторяемость (%)
Острозасушливые (95%)	40—70	< 3	16	22
Сухие (75%)	71—140	3,1—5,0	14	19
Средние (50%)	141—180	5,1—7,0	14	19
Средневлажные (25%)	181—220	7,1—10	20	27
Влажные (10%)	> 220	> 10,1	8	13
Сумма			72	100

Агротехнические и гидромелиоративные мероприятия (снегозадержание на полях, задержание снеговых вод и регулярное орошение) могут обеспечить дополнительное увлажнение, а следовательно, повышение урожаев и создание устойчивого земледелия в Кулундинской степи.

1.4. Эрозия почв и основные мероприятия по борьбе с ней

Интенсивное освоение целинных земель в Кулундинской степи в последние годы способствовало развитию эрозионных процессов в почве. Причем здесь имеет место как водная эрозия, так и дефляция почв.

Водная эрозия. Многочисленными исследованиями установлено, что смыв почв при ливневом стоке снижается с повышением плодородия, улучшением агрегатного состояния почв и травостоя [14, 116, 215].

Данные о величине склоновой эрозии во время стока снеговых вод в степной зоне приводятся в работах Г. П. Сурмача [223], Н. В. Разумихина [185], И. А. Кузника [116], Г. В. Назарова [159], М. С. Мамаева [131], С. С. Сдобникова [200], А. Д. Орлова [165] и других исследователей.

Значительный интерес представляет работа С. С. Соболева [215], содержащая большой фактический материал о водной эрозии почв и ее влиянии на урожай сельскохозяйственных культур.

Швейцарский ученый Мейер-Петер [294] установил зависимость расхода наносов от разности касательных напряжений. Подробный разбор полуэмпирических и эмпирических исследований эрозии почв содержится в работе шведского исследователя Сунберга [304].

В работах Ниила [296], Делли и Гейса [278], освещен вопрос о влиянии длины и уклона на сток снеговых вод и смыв почвы с сельскохозяйственных угодий. Элизон [280] рассматривает явление водной эрозии как процесс раздробления и переноса почвенных частиц. Опыты Элизона весьма интересны в методическом отношении и нашли признание в СССР [76].

Хари Лал Салли [286] установил, что во время ливня в Индии диаметр капли достигает 4—6 мм, а конечная скорость, при кото-

рой она попадает на пашню, составляет 10 м/с. Он считает, что ливневые капли разрывают почвенную структуру и участвуют в образовании суспензии (до 20% верхнего пахотного горизонта) из непоглощенной ливневой воды. Непоглощенная вода, уходя, уносит богатейшую часть земли в реки и озера. Это может быть уподоблено «золоту земли, сбрасываемому в море» [285].

После ливневого дождя или в период весеннего снеготаяния некоторое количество воды, содержащей суспензию, просачивается и вмывается в пахотный горизонт. Это в свою очередь забивает капилляры почвы у поверхности и тем самым уменьшает инфильтрацию. Поэтому сток ливневых и снеговых вод сильно возрастает, и после накопления значительного количества воды на поверхности почвы создаются благоприятные условия для образования ручьев, промоин и оврагов.

Вопросу эрозии почв посвящены многие исследования в США. По данным Алабамской опытной станции, водная эрозия на задерненной почве (под викией) резко снижается, в 10—50 раз по сравнению с распаханной [296, 297].

В Поволжье дождевой сток с залежных площадок снижается с увеличением шероховатости и густоты травяного покрова, а суммарный сток с зяби в 3—20 раз меньше, чем с залежи (пожнивных остатков нет). Соотношения эти уменьшаются с увеличением густоты травостоя [116].

В Северной Кулунде (Купинский район Новосибирской области) экспериментальные полевые исследования водной эрозии почв проводились на стоковых площадках (8—16 м²) с помощью секционной дождевальной установки конструкции А. Д. Саваренского. Уклон площадок 0,020—0,024, почвы — среднесуглинистый маломощный южный чернозем (местами пятна солонцов).

Осредненные результаты опытов, выполненных с трехкратной повторностью, при сумме осадков 80 мм и интенсивности дождя 1 мм/мин приводятся в табл. 5. Из данных таблицы видно, что дождевой сток с многолетней залежи достигает больших размеров (38,4 мм). На площадке, вспаханной поперек склона, дождевой сток почти в два раза меньше, чем на площадке, вспаханной вдоль склона.

Таблица 5

Склоновый сток и эрозия почвы при дождевании стоковых площадок в Северной Кулунде (1962 г.)

Характеристика стоковой площадки	Сток (мм)	Мутность (г/м ³)	Эрозия (мк)	Эрозионный коэффициент
Зябь, вспаханная вдоль склона	1,7	1980	32,2	1,29
Зябь, вспаханная поперек склона	0,9	1710	14,1	1,23
Стерня пшеницы	20,5	51	9,1	0,44
Двухлетняя залежь . .	38,4	720	24,1	0,63

Таким образом, в условиях расчлененного рельефа водная эрозия почв связана с величиной стока. В условиях расчлененного рельефа Кулундинской степи (Приобское плато, Прииртышье) основным средством борьбы с водной эрозией почв является задержание снеговых вод на полях. Для этого рекомендуется проводить поперечную пахоту, создавать мелководные лиманы и микролимены, а также пруды и водоемы в верховьях балок, лощин и оврагов.

Дефляция почв. Пыльные, или черные, бури в Кулундинской степи обычно повторяются один раз в 2—3 года. Во время таких бурь на отдельных участках ветер за короткое время, в 2—3 дня, сносит верхний слой (5—10 и даже до 20 см) распыленной почвы и губит посевы.

Дефляция почв в степных районах Сибири наблюдается нередко и зимой. Сильные ветры сдувают снежный покров с зяби и развевают верхний слой почвы.

В 1963, 1965 и 1967 гг. в Кулундинской степи наблюдалась дефляция почв на пахотных угодиях. Наибольшего развития дефляция почв в 1963 г. достигла в Павлодарской области и в Алтайском крае. В результате этого в совхозе «Кулундинский» Алтайского края пострадали посевы яровых культур. В совхозе распространены преимущественно легкие почвы. Они имеют пониженную связность и слабо противостоят ветрам, поэтому после вспашки часто легко подвергаются выдуванию. Особенно низкие урожаи были на полях с супесчаными почвами; здесь во время пыльных бурь погибло значительно больше пшеницы, чем на суглинистых почвах (табл. 6). Для того чтобы разработать правильные приемы защиты почв от дефляции, надо знать механизм разрушения и переноса почвы в процессе этого явления.

Таблица 6

Состояние посевов яровой пшеницы во время пыльных бурь в июне 1963 г. (совхоз «Кулундинский» Алтайского края)

Преобладающие почвы	Среднее число растений на 1 м ²		Количество погибших растений (%)
	до повреждения	после повреждения	
Темно-каштановые легкосупесчаные выщелоченные	300	29	90,0
Темно-каштановые супесчаные солонцеватые	300	88	70,0
Темно-каштановые легкосуглинистые слабосолонцеватые	300	152	50,0

Применительно к условиям Центральной Кулунды установлено, что поля, поверхность которых состоит из большого количества ко-

мочков почвы диаметром более 2 мм, не подвергаются эрозии. Неустойчивы к ветровой эрозии поля, лишенные растительности, с сильно распыленными почвами (диаметр основной массы комочков 0,1—0,5 мм).

Исследованиями А. И. Бараева [20] установлено, что у самой поверхности почвы из-за сильной шероховатости скорость ветра практически равна нулю; почвенные частички диаметром меньше 0,1 мм находятся в штилевой полосе и поэтому не поднимаются ветром. На небольшой высоте от поверхности скорость ветра нарастает. Частицы почвы диаметром 0,1—0,5 мм выходят из полосы штиля и под ударами ветра приобретают вращательное движение. В результате скачущие почвенные частички (сальтации, по А. К. Дюнину), попадая на мелкие пылинки, выбрасывают их за пределы штилевой полосы, где они подхватываются ветром и сносятся с полей. При ударе о комочки большого размера сальтирующие частицы заставляют их двигаться по поверхности поля. Крупный комочек почвы, состоящий из микроагрегатов, при ударе распадается на части, и количество сальтирующих частиц быстро нарастает, подобно цепной реакции, захватывая все новые и новые частицы.

На основании обобщенных материалов Кулундинской и Павлодарской опытных станций можно рекомендовать следующие мероприятия по борьбе с дефляцией почвы в степных районах Кулундинской степи. На землях, расположенных на ветроударных сильно эродированных склонах, очень важно сохранять на поверхности стерню и другие растительные остатки, обрабатывая почву безотвальными орудиями. Опыт показывает, что при безотвальной обработке стерня не только защищает почву и всходы, но и способствует накоплению снега и сохранению его на полях. Это в свою очередь уменьшает глубину промерзания почвы, улучшает тепловой и водный режимы, обеспечивает более высокий урожай. Так, по данным Всесоюзного института зернового хозяйства, урожай яровой пшеницы в 1961 и 1962 гг. составил на обычной зяблевой вспашке 8,4 и 9,6 ц/га, а на поле, обработанном безотвальными орудиями, 11,6 и 13,2 ц/га; в 1963 г. — соответственно 5,8 и 11,8 ц/га.

Орудия и машины, распыляющие почву (лемешные и оборотные плуги, дисковые бороны, гладкие катки и др.), необходимо заменить системой машин, оставляющих на пашне 70—90% стерни и создающих ветроустойчивый пахотный слой.

Обработку легких почв следует вести только во влажном состоянии, весеннюю обработку и посев производить по возможности одновременно, в самые ранние и сжатые сроки, глубоко заделывая семена. Глубокую отвальную вспашку надо применять лишь при подъеме целины или травяного пласта, а также периодически на засоренных полях. Чистые пары надо заменять занятыми, а культивация — гербицидами, если позволяет водный баланс [72].

Изменение способов обработки почвы в степных районах Кулунды с легкими почвами (супесями) резко снизит разрушающее

действие дефляции. Однако для полного прекращения дефляции на легких супесчаных и песчаных почвах необходим целый ряд других агротехнических и мелиоративных мероприятий. В частности, следует вводить почвозащитные севообороты, т. е. размещать сельскохозяйственные культуры полосами, чередуя посев однолетних культур с многолетними. При таком размещении многолетние культуры хорошо защищают посевы однолетних от выдувания и повреждения и урожайность заметно повышается. На полях Павлодарской опытной станции в засушливом 1959 г. урожай яровой пшеницы в полосах составил 8,1 ц/га, а на полях без защитных полос 3,5 ц/га. В 1960 г. урожай ячменя в полосах составил 16,5 ц/га, а на полях без полос 1,5 ц/га [26].

Ширина полос как распахиваемых, так и защитных, под многолетними культурами (житняк или люцерна) должна быть 50—100 м. Лучшие сроки посева житняка и люцерны в Кулундинской степи — 10 сентября — 5 октября. Приборовые пески следует засевать многолетними травами. Полосы на равнинных местах нужно располагать перпендикулярно направлению господствующих ветров, а при расчлененном рельефе — вдоль основного направления горизонталей.

Исследования на Павлодарской опытной станции показали, что на легких почвах при сочетании почвозащитной обработки и полосного размещения культур можно полностью прекратить дефляцию. В Карабидайском совхозе Павлодарской области все поля на площади 32 тыс. га подвергались дефляции. В 1960 г. в этом совхозе 6 тыс. га посевов погибло от эрозии. После введения в 1961 г. полосного размещения посевов ветровая эрозия прекратилась.

Применение безотвальной обработки почв с сохранением стерни вполне оправдано экономически. Как показали расчеты, прямые затраты на 1 ц зерна на отвальной зяби были заметно выше, чем на безотвальной (в 1964 г. они составили соответственно 2 руб. 33 коп. и 1 руб. 38 коп.). Высокая эффективность безотвальной обработки эродированных каштановых почв Центральной Кулунды подтверждается данными табл. 7.

Таблица 7

Урожай яровой пшеницы в зависимости от способов обработки эродированных каштановых почв на Славгородской селекционной станции (Алтайский край) в засушливые годы

Способ обработки	1961 г.	1962 г.	1963 г.	1965 г.	Среднее за 4 года
Отвальная зяблевая вспашка	8,4	9,6	1,7	1,7	5,4
Безотвальная обработка с сохранением стерни	10,5	12,9	2,3	6,1	8,0

Во многих хозяйствах имеются значительные площади легких эродированных почв (приборовые пески, например), уже непригодных для посева на них однолетних культур. Такие земли необходимо засевать многолетними травами: житняком, эспарцетом, люцерной, донником.

Для предохранения почвы от дефляции можно рекомендовать посевы кулис из сизой горчицы или подсолнечника (ширина между кулисами 20—30 м). Кулисы двухстрочные сеют обычно с 20 июля по 6 августа. Для предупреждения дефляции очень важно своевременно и с высоким качеством выполнять весь комплекс агротехнических мероприятий: прикатывание посевов кольчатым катком, нормальную глубину заделки семян и т. д.

Хорошо защищают почвы от дефляции лесные полосы [26, 56]. Их создают в первую очередь на ветроударных склонах, с тем чтобы ослабить скорость ветра и защитить почву от выдувания. Для полезащитных полос на полях, подверженных дефляции, подбирают породы деревьев и кустарников, которые способны произрастать в сухой степи. Лесные полезащитные полосы должны быть трехрядными или пятирядными, ажурной конструкции.

В табл. 8 приведены прибавки урожая яровой пшеницы в остро-засушливом году в зависимости от конструкции лесополос и удаленности от них посевов [83] по сравнению с открытым полем.

Таблица 8

Прибавки урожая яровой пшеницы «Саратовская 29»
в 1965 г. в совхозе «Кулундинский»

Конструкция лесных полос	Прибавка урожая (ц/га) на расстоянии от полосы, кратном высоте деревьев					Средняя прибавка на всей площади (ц/га)
	0—5	5—10	10—15	15—20	20—30	
Трехрядная ажур- ная	1,72	1,94	1,89	1,49	1,15	1,42
Семирядная плот- ная	1,61	0,55	0,37	0,21	0,21	0,63

Следовательно, на расстоянии вплоть до 30-кратной высоты деревьев урожай пшеницы под защитой трехрядной полосы ажурной конструкции значительно выше, чем при семирядной непродуваемой конструкции.

С. Н. Андрианов [5] и Л. А. Ламин [122] рекомендуют для полезащитных лесных полос на незасоленных почвах Центральной Кулунды следующие древесные и кустарниковые породы: главные — тополь сибирский и береза бородавчатая, сопутствующие — клен ясенелистный, кустарники — смородина золотистая, облепиха. Для Приобского плато в качестве главных древесных пород рекомендуются лиственница сибирская, береза бородавчатая, тополь сибирский и вяз обыкновенный; в качестве сопутствующих — липа мелколистная, клен ясенелистный. На песках и слабогумусирован-

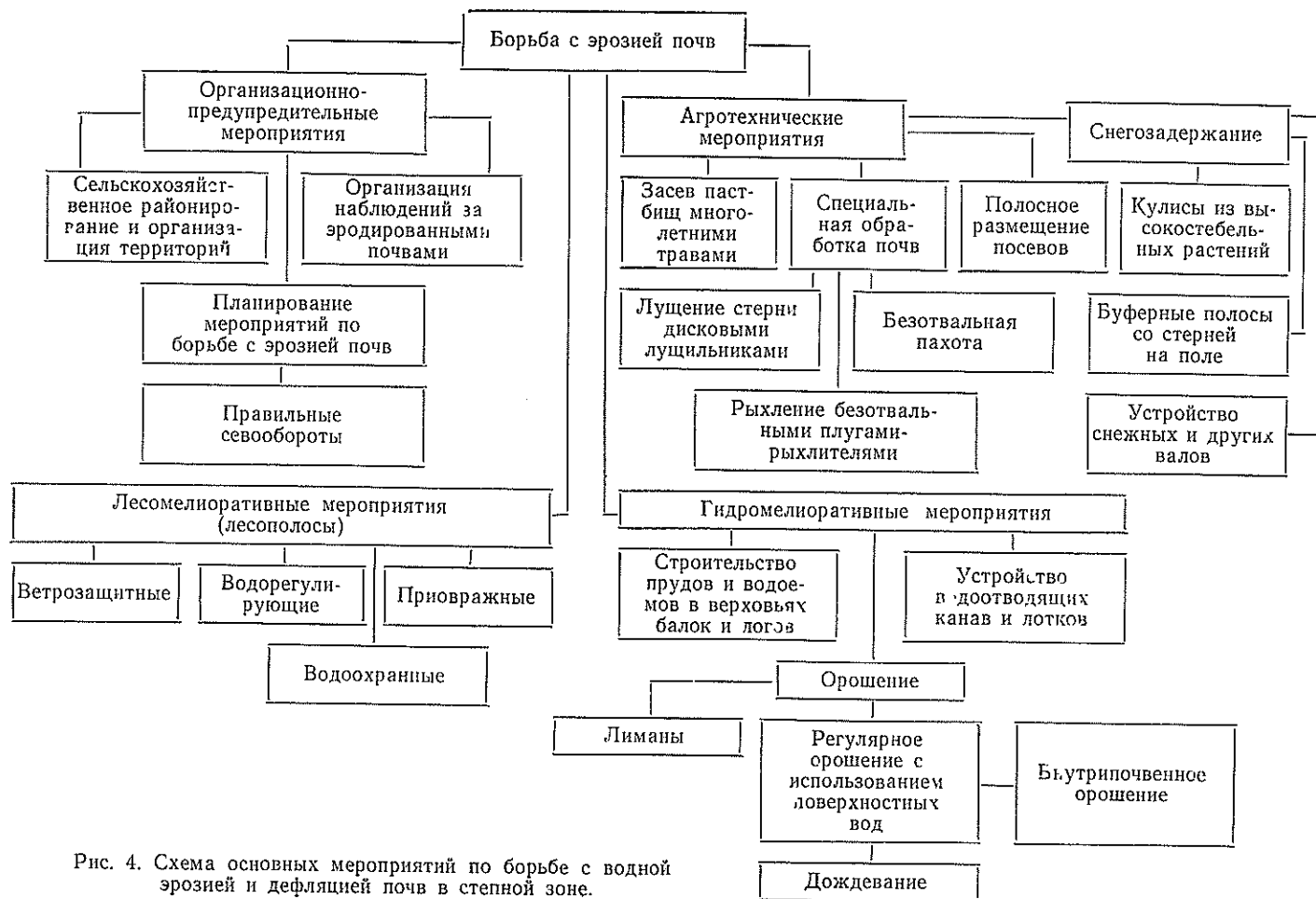


Рис. 4. Схема основных мероприятий по борьбе с водной эрозией и дефляцией почв в степной зоне.

ных песчаных почвах в качестве главной породы рекомендуется сосна обыкновенная.

Для лесополос в условиях орошения из древесных пород для Кулундинской степи рекомендуются: тополь сибирский, береза бородавчатая, лиственница сибирская, сосна (на легких почвах), ива ломкая, ива белая (особенно для полос вдоль каналов).

Основные мероприятия по борьбе с водной эрозией и дефляцией почв в Кулундинской степи представлены в схеме на рис. 4.

Выводы

1. Особенностью природных условий Кулундинской степи является частая повторяемость сухих лет и общее неблагоприятное для сельского хозяйства распределение осадков в течение года: малое количество осадков в начале вегетационного периода (май—июнь) и резкое увеличение их во второй половине этого периода (июль — август).

2. Ввиду малого количества осадков и неравномерности их распределения в вегетационный период условия произрастания сельскохозяйственных культур в отдельные годы весьма неблагоприятны. Для улучшения их необходимо изменить водный режим почв путем проведения комплексных агротехнических и гидротехнических мероприятий, в частности орошения.

3. Орошение в Кулундинской степи должно обязательно сочетаться с другими мероприятиями по повышению обеспеченности растений влагой на богаре: снегозадержанием, насаждением лесных полос, специальными приемами обработки почвы и др.

4. Наблюдениями над склоновой водной эрозией почв установлено: а) на зяби, вспаханной поперек склона, дождевой (ливневый) сток почти в два раза меньше, чем на зяби, вспаханной вдоль склона; б) смыв почвы во время весеннего стока можно снизить применением соответствующих способов обработки почвы. В частности, при зяблевой вспашке поперек склона смыв почвы в весенний период снижается в среднем почти в два раза по сравнению со смывом на зяби, вспаханной вдоль склона; в) поперечная зяблевая пахота (ранняя зябь) является не только эффективным средством накопления влаги в почве, но и уменьшает ее смыв.

5. Для предотвращения дефляции почв в Кулундинской степи следует широко применять безотвальную обработку почвы с помощью орудий и машин, оставляющих в пашне 70—90% стерни. На легкоразвеваемых супесчаных и песчаных почвах необходимо вводить почвозащитные севообороты, главным образом полосное земледелие, чередуя посев однолетних культур с многолетними (травами). Рекомендуется повсеместно закладывать лесные полезащитные полосы ажурной конструкции.

ГЛАВА 2 АГРОГИДРОЛОГИЧЕСКИЕ И МЕЛИОРАТИВНЫЕ СВОЙСТВА ПОЧВ И ВЛАГООБЕСПЕЧЕННОСТЬ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР

Исследования водного режима почво-грунтов в зоне аэрации используются для регулирования поверхностного стока и мелиорации почв [106, 241, 267], а также для регулирования водно-солевого режима почв и прогнозирования возможного его изменения при орошении. Анализ водно-солевого режима почв позволяет рассматривать почвообразовательные процессы в природе с учетом возможного ослабления засоления почв [27, 93, 171].

Методика определения водно-солевого баланса районов орошаемого земледелия изложена в работах В. В. Егорова [69], А. Н. Костякова [106], А. П. Бирюковой [28]. Теоретическое обоснование дренажа орошаемых земель выполнено С. Ф. Аверьяновым [3]. На значение балансового подхода как одного из основных методов при проектировании мелиоративных мероприятий указывали С. И. Харченко [241] и др.

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 [175]. Классические работы по водному режиму почв принадлежат С. И. Долгову [63], А. А. Роде [188], А. Ф. Большакову [30], Н. А. Качинскому и А. М. Бялому.

Почвы Кулундинской степи изучались многими исследователями. И. П. Выдрин и З. И. Ростовский, описывая почвы Алтайского края, приводят выборочные данные по объемному и удельному весу почв. В монографиях К. П. Горшенина [52] и М. З. Журавлева [72] приведен обширный материал по водному режиму богарных почв степных и лесостепных районов Сибири.

Водно-физические свойства почв северной и центральной частей Кулундинской степи были исследованы почвенной экспедицией Биологического института Сибирского отделения АН СССР [172, 173]. Данные по физике каштановых почв в богарных условиях опубликованы С. И. Долговым, Л. О. Карпачевским [86], а по засоленным почвам степи — Н. В. Орловским [167] и С. Н. Селяковым [201, 202]. Водный режим орошаемых каштановых почв Центральной Кулунды освещен в работах В. П. Панфилова [173], С. А. Вериги и Л. А. Разумовой [41].

Основным расчетным показателем водно-физических свойств почв при выборе техники полива является водопроницаемость почв и подстилающих пород; при проектировании режимов орошения в качестве исходной величины используется влагообеспечен-

ность сельскохозяйственных культур в начале и конце вегетационного периода. Для решения этих вопросов в Кулундинской степи были проведены специальные исследования. Более детально эти исследования были выполнены на Приобском плато, где изучался режим лиманного орошения, и в Центральной Кулунде, где определялся водно-тепловой баланс орошаемого и богарного полей яровой пшеницы. Детальные исследования водно-физических свойств почв выполнены при проектировании опытно-производственного орошаемого участка в совхозе «Ключевской» Алтайского края.

2.1 Водно-физические и агрогидрологические свойства почв

Механический состав почв Кулундинской степи весьма неоднороден. Каштановые почвы Центральной Кулунды и Павлодарского плато залегают на мощной толще песков и супесей, имеющих суглинистые прослойки, и представлены супесями иловато-песчаными (станции Ключи, Успенка), легкими и средними суглинками (ст. Бурла). Наиболее распространены здесь легкосуглинистые песчано-пылеватые (ст. Славгород) почвы, содержащие в верхних горизонтах 20—30% частиц диаметром меньше 0,01 мм. На глубине около 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 [86].

Обыкновенные (южные) черноземы по механическому составу относятся к песчано-пылеватым (ст. Завьялово), легким и средним суглинкам (ст. Родино), подстилаемым более легкими породами. Диапазон активной 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, равная 1,3 максимальной гигроскопичности, 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 влагоемкости¹ [173].

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 составляют около 850—1200 м³/га, а для средне-суглинистых — 1450—1600 м³/га.

Чередование в нижней части профиля темно-каштановых почв слоев с различным механическим составом, имеющих неодинаковую порозность, а также уплотненные карбонатные горизонты,

¹ Наименьшая (общая) влагоемкость (НВ) — потенциально возможный запас влаги, удерживаемый почво-грунтами без стекания в грунтовые воды [173, 188].

Таблица 9

Гидрологические показатели ($\text{м}^3/\text{га}$) различных по механическому составу черноземов и каштановых почв Кулундинской степи (по В. П. Панфилову [173])

Показатель	Слой (см)	Почвы					
		супесчано-песчаные	супесчаные	легкосуглинистые супесчаные	легкосуглинистые	среднесуглинистые супесчаные	среднесуглинистые
Наименьшая влагоемкость	0—50	650	850	1000	1020	1200	2500
	0—100	1250	1650	1900	2070	2250	
Непродуктивная влага (влажность завядания)	0—50	225	325	430	430	470	900
	0—100	430	640	780	805	810	
Продуктивная влага (диапазон активной влаги)	0—50	425	525	570	590	730	1600
	0—100	820	1010	1120	1165	1440	
Поливная норма при влажности почвы, соответствующей нижнему пределу увлажнения	0—50	290	380	400	410	480	1000
	0—100	560	740	760	830	900	

Таблица 10

Предельные запасы усвояемой и неусвояемой влаги ($\text{м}^3/\text{га}$) в почвах Кулундинской степи применительно к различным сельскохозяйственным культурам, возделываемым при орошении

Почва	Активный слой многолетних трав (0—100 см)		Активный слой яровых зерновых (0—80 см)		Активный слой пропашных культур (0—60 см)		Активный слой овощных культур (0—40 см)	
	наименьшая влагоемкость	неусвояемая влага	наименьшая влагоемкость	неусвояемая влага	наименьшая влагоемкость	неусвояемая влага	наименьшая влагоемкость	неусвояемая влага
Каштановая для районов Павлодарского плато								
солонец среднестолбчатый	2782	1467	2287	1223	1840	923	1274	607
легкая супесь	1726	744	1495	637	1169	495	780	308
Темно-каштановая и каштановая (супесь) в Центральной Кулунде	1887	596	1512	458	1149	329	753	212
Чернозем в Северной Кулунде								
средний суглинок	2174	909	1780	736	1332	555	923	339
солонец глубоко-столбчатый	2793	1309	2386	1075	1913	825	1361	541
Маломощный южный чернозем на Приобском плато								
легкосуглинистый	2708	729	2255	602	1787	465	1306	320
легкосуглинисто-супесчаный	1573	470	1321	401	1045	329	703	247

Таблица 11

Основные агрогидрологические и мелиоративные свойства почв различных геоморфологических районов Кулундинской степи

Глубина (см)	Удельный вес (г/см ³)	Объемный вес (г/см ³)	Порозность (% объема почвы)	Влажность завядания (% объема почвы)	Наименьшая влагоемкость (% объема почвы)	Влажность замедления роста (% объема почвы)	Запас воды (м ³ /га)				Ориентировочная поливная норма (м ³ /га)
							при влажности завядания	при наименьшей влагоемкости	наиболее удобное	продуктивные	

Каштановая, легкая супесь (Павлодарское плато)

0—40	2,62	1,50	42,8	7,7	19,5	13,65	308	780	472	234	250
0—60	2,63	1,55	40,9	8,2	19,5	13,65	495	1169	674	350	350
0—80	2,64	1,58	39,8	7,7	18,7	13,09	637	1495	858	422	450
0—100	2,64	1,60	39,3	7,4	17,3	12,10	744	1726	982	518	550

Маломощный южный чернозем, средний суглинок (Приобское плато)

0—40	2,60	1,22	54,0	8,0	32,6	22,8	320	1306	986	392	400
0—60	2,63	1,24	53,0	8,0	29,8	20,85	465	1787	1322	536	550
0—80	2,63	1,25	53,0	8,0	28,2	19,70	602	2255	1653	677	650
0—100	2,64	1,26	52,0	7,8	27,1	18,95	729	2708	1979	812	800

Южный чернозем, легкий суглинок (Северная Кулунда)

0—40	2,67	1,44	46,3	8,5	21,2	14,80	339	923	584	277	300
0—60	2,70	1,49	44,6	9,2	21,3	14,90	555	1332	777	400	400
0—80	2,71	1,52	44,1	9,2	21,6	15,11	736	1780	1044	534	550
0—100	2,71	1,54	43,4	9,1	21,2	14,83	909	2174	1265	652	650

затрудняет капиллярное поднятие воды. Поэтому в засушливые годы запасы продуктивной влаги в верхней толще почвы быстро истощаются, а из нижележащих слоев из-за наличия карбонатного горизонта влага поступает слабо. Почвенно-гидрологические показатели основных почв Кулундинской степи представлены в табл. 9. При расчете данных таблицы В. П. Панфилов за нижний предел увлажнения 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 замедления роста, по Б. Н. Мичурину, или влажность разрыва капилляров, по С. И. Долгову и А. А. Роде) для каштановых почв (супеси) выше влажности завядания и составляет около 50%, а для южных черноземов (суглинков) — 65—70% НВ. Это необходимо учитывать при определении поливных норм в степной зоне.

На основании экспериментальных данных [172, 173] 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 имеют наиболее высокую водоудерживающую способность, 2500—2700 м³/га. По мере облегчения механического состава водоудерживающая способность метрового слоя почвы резко снижается (1250—1700 м³/га). Аналогичные закономерности также прослеживаются и для других почвенно-гидрологических констант (табл. 10, 11) и во многих случаях подтверждаются данными табл. 9.

2.2. Водопроницаемость почв

Данные о водопроницаемости черноземных почв Северной Кулунды и Приобского плато были получены методом заливаемых площадок (1 м²) с напором воды на поверхности почвы 5 см (табл. 12). В 1961—1963 гг. Кулундинская комплексная экспеди-

Таблица 12

Водопроницаемость пахотного горизонта черноземов Кулундинской степи
(осредненные данные из трех повторностей)

Пункт	Почва	Скорость впитывания (мм/ч)				
		1-час	2-час	3-час	6-час	24-й час (коэффициент фильтрации)
п. Андреевское Баганского района Новосибирской области	Южный чернозем легкосуглини- стый	62,6	38,6	33,8	28,6	24,6
п. Кузнецовка Баганского района Новосибирской области		55,6	28,0	21,6	17,4	12,3
п. Новороссийка Родинского района Алтайского края	Чернозем легкосуглини- стый	96,6	79,2	68,3	54,0	42,2
п. Шаталовка Родинского района Алтайского края		54,0	42,0	39,1	36,8	33,6
п. Нововознесенска Родинского района Алтайского края		42,0	37,8	32,4	28,2	24,0
п. Степной Кучук Родинского района Алтайского края	Солонец высоко- столбчатый . . .	10,2	6,6	5,4	4,2	2,6

ция Сибирского отделения АН СССР при участии автора провела цикл исследований с помощью экспериментальной дождевальной установки. Задача этих исследований заключалась в определении составляющих водного баланса почво-грунтов в зоне аэрации различных геоморфологических районов Кулундинской степи¹. Одновременно с этим определялись инфильтрационные свойства почво-грунтов в различных районах Кулундинской степи (табл. 13).

¹ В исследованиях принимали участие А. Д. Саваренский, Т. И. Иванцова и Н. П. Туранов.

Таблица 13

Водопроницаемость почв и подстилающих пород Кулундинской степи (осредненные данные из трех повторностей)

Пункт	Способ определения	Почва	Глубина определения	Скорость впитывания (см/мин)		
				1-й час	6-й час	24-й час (коэффициент фильтрации)
с. Зеленая Поляна Ключевского р-на Алтайского края	Метод Нестерова	Содовый солончак	Поверхность (целина)	0,006	0,003	0,002
с. Зеленая Поляна	То же	Солончак	Поверхность (пашня)	0,008	0,006	0,003
с. Зеленая Поляна	"	"	25 см	0,012	0,008	0,004
с. Зеленая Поляна	"	Солонцы средне-столбчатые	Поверхность (целина)	0,032	0,025	0,013
с. Зеленая Поляна	Экспериментальная дождевальная установка	Солончак	Поверхность (целина)	0,008	0,004	0,003
с. Зеленая Поляна	То же	"	Поверхность (залежь)	0,005	0,003	0,002
с. Истимис, Ключевского р-на, Алтайского края	Метод Нестерова	Каштановая (супесь)	Поверхность (залежь)	0,242	0,061	0,035
с. Истимис	То же	Суглинок	80 см	0,066	0,026	0,011
с. Истимис	"	Глина	200 см	0,024	0,005	0,003
с. Истимис	"	Супесь	50 см	0,112	0,033	0,023
п. Зеленый Луг Родинского р-на Алтайского края	Экспериментальная дождевальная установка	Южный чернозем (суглинок)	Поверхность (целина)	0,067	0,029	0,017

Пункт	Способ определения	Почва	Глубина определения	Скорость впитывания (см/мин)		
				1-й час	6-й час	24-й час (коэффициент филь- транта)
п. Зеленый Луг	Экспериментальная дождевальная ус- тановка	Южный чернозем (суглинок)	Поверхность (стер- ня)	0,042	0,024	0,014
п. Зеленый Луг	То же	То же	60 см	0,038	0,021	0,013
с. Красноармейка, Павлодарского р-на Павлодарской области	„	Каштановая (супесь)	Поверхность (стер- ня)	0,177	0,076	0,046
с. Красноармейка	„	То же	Поверхность (цели- на)	0,203	0,088	0,048
п. Федоровка Качирского р-на Пав- лодарской области	Метод Нестерова	Чернозем солонцева- тый	Поверхность (паш- ня)	0,047	0,029	0,019
п. Ясная Поляна Ребрихинского р-на Алтайского края	То же	Южный чернозем (легкий суглинок)	Поверхность (цели- на)	0,192	0,081	0,043
п. Черемшанка Тюменцевского р-на	„	Южный чернозем (легкосуглинисто- супесчаный)	200 см Поверхность (зябь)	0,214 0,262	— 0,124	— 0,067
с. Васильчуки Ключевского р-на	„	Каштановая (супесь)	200 см Поверхность (стер- ня)	0,124 0,483	— 0,313	— 0,287
п. Златополь Кулундинского р-на	„	Каштановая (легкий суглинок)	Поверхность (за- лежь)	0,235	0,171	0,162
п. Николаевка Михайловского р-на	„	Каштановая солон- цеватая (средний суглинок)	Поверхность (стер- ня)	0,096	0,53	0,046
п. Новокормиха Волчинского р-на	„	Каштановая (легкий суглинок)	Поверхность (зябь)	0,151	0,092	0,063
с. Некрасово Славгородского р-на	„	Каштановая солонце- ватая (суглинок)	200 см Поверхность (цели- на)	0,142 0,091	0,112 0,031	0,059 0,021
с. Подойниково Панкрушихинского р-на	„	Солонцы глубоко- столбчатые	200 см Поверхность (паш- ня)	0,095 0,039	0,072 0,021	0,063 0,017

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 подаче больших поливных норм 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 (с поверхности почвы) между каштановыми почвами и солончаками занимают маломощные южные черноземы (скорость просачивания воды 0,014—0,067 см/мин).

2.3. Влагообеспеченность сельскохозяйственных культур

Годовой коэффициент увлажнения в Кулундинской степи (по Н. Н. Иванову) колеблется около 0,3, за май—июнь — 0,18—0,24 (Ключи, Славгород, Родино). На Павлодарском плато и в Центральной Кулунде испаряемость за год достигает 700—800 мм [135], что в два-три раза превышает сумму годовых атмосферных осадков. Годовое испарение с поверхности почвы в естественных условиях весьма мало. По нашим данным, на севере рассматриваемой территории оно составляет 400—450 мм, на юге — 300—350 мм, а за период вегетации (май—август) — 250—300 и 175—225 мм соответственно.

Запасы продуктивной влаги к началу вегетационного периода (конец апреля — начало мая) в слое почвы 0—20 см обеспечивают лишь прорастание и всходы растений. В метровом слое почвы запасы продуктивной влаги в это время в Северной Кулунде и на Приобском плато составляют 90—120 мм, а в Центральной Кулунде и на Павлодарском плато — 60—90 мм (табл. 14).

С. А. Вериге, Л. А. Разумова [41] и М. С. Кулик [119] считают запасы продуктивной влаги менее 20 мм в суглинистых и глинистых почвах в слое 0—20 см плохими, не обеспечивающими нормальное произрастание и укоренение растений, 20—35 мм — удовлетворительными, 35 мм и выше — хорошими. В период полного развития растений удовлетворительным считается запас влаги около 80 мм и хорошим — выше 100 мм в метровом слое почвы. Таким образом, наиболее благоприятными запасами продуктивной влаги ко времени сева яровых культур являются:

Почвы	суглинистые		супесчаные		песчаные	
Слой (см) . . .	0—20	0—100	0—20	0—100	0—20	0—100
Запасы продук-						
тивной влаги						
(мм)	40—50	170—190	30—40	150—170	20—30	80—120

Запасы продуктивной влаги в почве за вегетационный период под яровой пшеницей (1940—1970 гг.)

Почва	Слой почвы (см)	Средние запасы влаги (мм)					
		третья декада апреля	май	июнь	июль	август	сентябрь — первая половина октября

Центральная Кулунда (Ключи, Славгород)

Каштановая, супесь пылеватая	0—20	20—28	22	12	9	5	10—20
	0—50	40—65	51	29	20	12	15—30
	0—100	60—90	80	45	41	24	30—40

Северная Кулунда (Купино, Карасук)

Южный чернозем, легкий суглинок	0—20	20—40	27	18	8	8	15—25
	0—50	50—60	56	43	26	17	25—40
	0—100	90—100	100	89	53	28	50—70

Приобское плато (Баево, Родино, Волчиха)

Южный чернозем, суглинок	0—20	25—40	22	14	12	5	20—25
	0—50	60—80	68	53	41	10	40—50
	0—100	100—120	105	91	69	30	60—80

Как видно из табл. 14, только на Приобском плато в пахотном и метровом слоях почвы более или менее удовлетворительные запасы продуктивной влаги (и то не во все годы). В остальных районах Кулундинской степи, как правило, запасы продуктивной влаги быстро истощаются и поэтому урожайность сельскохозяйственных культур в основном зависит от осадков, выпадающих за вегетационный период.

К середине мая запасы продуктивной влаги в пахотном горизонте на всей рассматриваемой территории снижаются до 22—27 мм, а в метровом слое — до 80 мм. В июне—июле они снижаются в соответствующих слоях до 8—20 и 40—70 мм, что явно не обеспечивает нормального развития яровых культур. В дальнейшем условия увлажнения еще более ухудшаются; в августе запасы продуктивной влаги в пахотном горизонте практически истощаются и только в сентябре—октябре за счет осенних дождей они несколько повышаются и составляют в пахотном слое 10—25 мм, а в метровом слое — 30—80 мм.

В конце вегетационного периода запасы продуктивной влаги в метровом слое почвы на чистых парах на 45—50 мм больше, чем на зяби (сентябрь), и на 60—70 мм больше, чем под многолетними травами. Для обеспечения потребности растений в воде необходима достаточно высокая подвижность влаги в почве. Это требование удовлетворяется при влажности почвы, превышающей влажность разрыва капилляров (ВРК). В зависимости от почвы и вида сельскохозяйственных культур она соответствует 50—80% НВ. Наиболее благоприятные условия для получения высоких

урожаев сельскохозяйственных культур обеспечиваются на большинстве почв при нижнем пороге влажности 70—80%.

Из приведенных материалов (см. табл. 11) видно, что при запаса продуктивной влаги 170—270 мм в метровом слое влажность почвы соответствует наименьшей влагоемкости. (В Западной Сибири изолиния наименьшей влагоемкости проходит в летний период по границе южной тайги и лесостепи). В степных районах Кулунды запасы влаги в метровом слое почвы в июне (см. табл. 14) в среднем соответствуют 40—50% НВ. Так, например, в Центральной Кулунде (Славгород, Ключи) в слое почвы 0—100 см на конец апреля средние запасы продуктивной влаги составляют 80—90 мм, в июне они снижаются до 45 мм, а в августе — до 24 мм, что соответствует 20—25% оптимальной обеспеченности. В то же время теплоэнергетических ресурсов здесь значительно больше, чем нужно для испарения атмосферных осадков [135]. Глубина промачивания каштановых почв в Центральной Кулунде на зяби весной, к началу сева, колеблется от 30 до 100 см (на Приобском плато — от 40 до 150 см), а в отдельные годы (1954, 1958 и 1960) — до 150—200 см и более. В эти же годы отмечена наиболее высокая урожайность зерновых культур (см. рис. 3).

Известно, что зерновые культуры, как правило, используют почвенную влагу из метрового слоя почвы, а в засушливые периоды из более глубоких слоев. В Кулундинской степи к концу вегетационного периода (в августе) запасы продуктивной влаги под яровой пшеницей в слое почвы 0—50 см ничтожно малы (10—17 мм), а в слое 50—100 см влажность почвы практически близка к влажности завядания (мертвому запасу).

Для того чтобы сохранить и правильно использовать продуктивную влагу, необходимо производить обработку почвы, обеспечивающую задержание снега и снеговых вод на сельскохозяйственных полях. Особенно эффективно снегозадержание с помощью высокостебельных кулис. Так, по данным Славгородской опытной станции, прибавка влаги в метровом слое почвы при снегозадержании с помощью кулис может достигать в отдельные годы 100 мм (табл. 15).

Эффективность снегозадержания с помощью кулис зависит от условий погоды, характера и состояния кулис и дефицита влаги в метровом слое почвы осенью. Чем больше дефицит влаги в почве и чем больше выпадает твердых осадков, тем эффективнее снегозадержание с помощью кулис [119, 200, 234].

Рассмотрим водный режим темно-каштановых почв Центральной Кулунды и влагообеспеченность отдельных сельскохозяйственных культур в условиях орошения.

Для получения максимального эффекта при орошении сельскохозяйственных культур поливы нужно производить в такие сроки и такими нормами, чтобы влажность почвы не была ниже оптимума (50—80% НВ) и обеспечивалось увлажнение всего активного слоя. При этом должны учитываться особенности водного режима почв и потребности орошаемых культур во влаге

Запасы продуктивной влаги в метровом слое почвы и урожай яровой пшеницы с кулисами и без кулис на полях

Предшественник яровой пшеницы	Засушливые годы (1953, 1955)		Влажные годы (1954, 1956)	
	запасы влаги весной (мм)	урожай (ц/га)	запасы влаги весной (мм)	урожай (ц/га)
Пар:				
без кулис	35	4,9	90	20,0
с кулисами	136	8,5	153	25,5
Зябь:				
без кулис	30	2,8	75	11,0
с кулисами	121	6,3	152	13,7
Пласт многолетних трав:				
без кулис	45	3,1	78	13,6
с кулисами	115	6,8	120	20,3
Стерня высокостебельных культур:				
без кулис	56	5,6	141	13,7
с кулисами	168	9,6	200	20,1

в отдельные периоды (фазы) вегетации. Для выявления закономерностей изменения запасов почвенной влаги при различных режимах орошения яровой пшеницы дождеванием в 1963—1965 гг. проводились специальные исследования на полях Кулундинской опытной станции (с. Ключи Алтайского края). Источником орошения являлись подземные воды нижнечетвертичных водоносных отложений.

Общие запасы продуктивной влаги в условиях орошения и на богарных полях за годы исследований даны в табл. 16.

После поливов наблюдается значительное увеличение запасов продуктивной влаги во всей активной зоне почвы. В среднем за три года на орошаемом поле в пахотном горизонте запасы продуктивной влаги удерживались в пределах 17—33 мм, в то время как на неорошаемом они не превышали 6—16 мм. В метровом слое на орошаемом поле запасы продуктивной влаги держались на уровне 65—105 мм и лишь к уборке (август) уменьшались до 40—50 мм. На неорошаемых полях они составляли 20—25 мм, а к концу вегетации — 10 мм и менее.

Различие в суммарном испарении яровой пшеницы в условиях орошения и на богаре выявляется в отдельные фазы вегетации, о чем упоминают Л. А. Разумова, С. Б. Мاستинская, Н. Б. Мещанинова и др. в своих работах [41, 184].

Известно, что весенние запасы влаги в почве имеют большое значение для первого периода роста и развития яровых культур, а также для всего периода вегетации. Эти запасы создаются за счет осенне-зимне-весенних осадков. По данным наших наблюдений (станции Ключи, Родино) и материалов гидрометслужбы (станции Славгород, Купино) рассчитана вероятность запасов продуктивной влаги в почвах в весенний период (табл. 17).

Таблица 16

Запасы продуктивной влаги (мм) на орошаемых (в числителе) и неорошаемых (в знаменателе) полях яровой пшеницы за 1963—1965 гг. в Центральной Кулунде

Слой почвы (см)	Июнь			Июль			Август
	первая декада	вторая декада	третья декада	первая декада	вторая декада	третья декада	первая декада
1963 г.							
0—20	9,5	15,7	11,3	12,3	14,4	20,8	18,1
	9,5	8,1	6,0	4,2	4,2	3,7	9,7
0—50	20,9	40,3	35,7	29,7	14,9	29,9	34,9
	20,9	15,6	12,8	13,7	9,2	9,9	12,6
0—100	25,0	65,6	65,5	62,8	35,9	38,5	47,8
	25,0	19,0	13,0	8,0	15,0	12,0	10,0
1964 г.							
0—20	11,0	24,5	27,4	33,4	10,5	15,5	7,4
	11,0	16,0	1,1	0,2	6,0	0,5	0,3
0—50	36,6	64,7	50,0	72,4	30,2	33,0	22,9
	36,6	38,6	8,6	6,1	5,4	0	10,6
0—100	72,7	106,7	76,4	92,1	41,8	55,8	51,8
	72,7	50,5	31,4	8,0	0	0	0
1965 г.							
0—20	8,5	2,0	43,0	7,4	6,6	8,4	—
	8,5	2,0	2,4	0	0	0	—
0—50	26,8	9,7	63,2	25,0	18,5	14,5	—
	26,8	9,7	7,6	0,8	0,6	0	—
0—100	54,1	27,5	56,7	34,5	13,8	17,5	—
	54,1	27,5	20,8	7,1	0	0	—

Таблица 17

Вероятность запасов продуктивной влаги в почве (в % к числу лет)

Метеостанция	Число лет наблюдений	Запас продуктивной влаги (мм)								
		в слое 0—20 см				в слое 0—100 см				
		0—10	11—20	21—30	31—40	0—40	41—80	81—120	120—160	161—200
Ключи	17	100	36	30	23	100	57	34	17	0
Славгород . . .	16	100	52	36	25	100	59	37	14	0
Купино	15	100	85	58	40	100	62	41	22	13
Родионо	16	100	79	61	47	100	65	45	25	17

Как показывают данные табл. 17, очень низкая обеспеченность яровых культур влагой отмечается как на суглинистых почвах (Купино, Родино), так и на супесчаных (Славгород, Ключи). На песчаных почвах яровые культуры обеспечиваются влагой в весенний период только в 35—50% лет.

2.4. Устойчивость почв и грунтов к содовому засолению

Почвы содового засоления довольно широко распространены в аридной и полуаридной зонах Советского Союза. Очаги содового засоления имеются также и на территории Западно-Сибирской низменности, в том числе и в Кулундинской степи [17, 50, 167]. Способы образования соды в почвах и грунтовых водах указаны в работах [52, 69, 171, 202 и др.].

Осваивая большие территории под орошаемое земледелие, мы как бы перемещаем их в зону более влажного климата и тем самым в какой-то мере способствуем созданию условий, характерных для более северных областей страны, где наиболее развито содовое засоление. В связи с развитием орошения в новых районах страны и переувлажнением почв за счет неупорядоченных поливов и близкого расположения минерализованных грунтовых вод расширяются возможности образования соды при биохимических процессах [17]. Однако многолетними исследованиями В. П. Бобкова [29] установлено, что в ряде случаев на протяжении десятков лет использования орошаемой территории повышение щелочности не наблюдается, хотя условия для содообразования имеются. В других случаях сода появляется в первые же годы орошения. Анализ данных, полученных Бобковым, дает возможность выявить очень важное свойство почвы: активно противодействовать появлению и накоплению соды в почвенном растворе. Каждая почва в той или иной степени невосприимчива к содовому засолению, т. е. обладает своего рода «содовым иммунитетом», зависящим от количества и качества солей в почве, емкости поглощения, механического состава почв и других факторов.

В. П. Бобков предложил метод анализа почвы, который позволяет определить сумму защитных свойств почвы, противодействующих содовому засолению, установить, насколько почвы той или иной территории устойчивы к содовому засолению, и, следовательно, дать прогноз возможности проявления содового засоления в почвах. Это свойство почв особенно важно при отборе новых площадей для орошения, так как при орошении за счет физико-химических и биологических процессов часто создаются условия, способствующие образованию соды в почве. Метод Бобкова основан на введении вредного вещества в почву и определении реакции почвы на это вещество, т. е. защитных сил почвы.

В. П. Бобков разделил все почвы по содоустойчивости на пять категорий:

0—10	мг-экв/100 г почвы	— практически не обладают содоустойчивостью;
10—20	"	— очень слабая содоустойчивость;
20—35	"	— слабая содоустойчивость;
35—50	"	— средняя содоустойчивость;
> 50	"	— высокая содоустойчивость.

Метод Бобкова был использован автором и А. В. Ивановым для анализа почв (в полуметровом, активном, слое) Центральной Кулунды (табл. 18).

Таблица 18

**Содоустойчивость (мг-экв/100 г почвы) темно-каштановых почв
Центральной Кулунды**

Глубина (см)	Место и дата отбора проб почвы			
	опытная станция пос. Целинный Ключевского района (орошаемое поле люцерны второго года пользования, 16 октября 1969 г.)	совхоз „Кулундинский“, Октябрьское отделение Кулундинского района (зябь, 15 октября 1969 г.)	совхоз „Славгородский“, Попереченское отделение Славгородского района (зябь, 15 октября 1969 г.)	совхоз „Алтай“, центральное отделение Табунского района (зябь, 15 октября 1969 г.)
0—10	38,8	42,8	43,2	37,2
10—20	44,2	44,8	41,2	43,2
20—30	41,2	40,8	34,8	41,2
30—40	40,4	36,8	30,4	40,4
40—50	35,2	36,4	26,0	35,2

Темно-каштановые почвы Кулундинской степи в основном имеют среднюю содоустойчивость. При наличии в почвах гипса содоустойчивость их, естественно, повышается.

К концу вегетации орошаемых культур в связи с выносом гипса — при поливе напуском по полосам (яровая пшеница) или по бороздам (овощи) — в более глубокие горизонты содоустойчивость верхних горизонтов почвы уменьшалась, а при поливе дождеванием нормами 250—300 м³/га содоустойчивость практически не изменялась.

Данные о содоустойчивости темно-каштановых почв являются предварительными. В дальнейшем следует продолжить аналогичные исследования для других типов почв Кулунды на различных сельскохозяйственных угодьях.

При орошении крупных земельных массивов в Кулундинской степи в отдельных случаях при неблагоприятных почвенно-гидрогеологических условиях (Прииртышская пониженная равнина) может произойти вторичное засоление почв. Поэтому при дальнейших исследованиях орошения в Кулундинской степи следует рассчитать водно-солевой баланс и оценить его применительно к перспективному плану орошения крупных массивов.

Для борьбы с засолением орошаемых земель следует не допускать поднятия уровня грунтовых вод выше критического, что достигается уменьшением потерь воды из оросительной сети и при поливах, а также устройством дренажа.

2.5. Осеннее увлажнение почвы в естественных условиях

Одним из основных факторов весеннего стока в степной зоне является осеннее увлажнение почвы или предзимняя влажность [160]. Осеннее увлажнение почвы необходимо учитывать не только при прогнозировании весеннего стока, но и при расчете оросительных норм при лиманном орошении и т. д.

Известно, что величина осеннего увлажнения почв определяется в основном водно-тепловым режимом территории. В связи с этим представляется возможным, по нашему мнению, прогнозировать среднюю величину осеннего увлажнения почв на основе геолого-геоморфологических и агрометеорологических условий наиболее репрезентативных районов степной зоны.

В агроклиматических справочниках приводятся запасы продуктивной влаги в метровом слое (мм). Общий же запас влаги в почве равен сумме продуктивной влаги и влаги, соответствующей влажности устойчивого завядания растений.

Для легких и средних суглинистых маломощных черноземов и каштановых почв, наиболее распространенных в степной зоне Западной Сибири, по данным многих исследователей, влажность устойчивого завядания равна $1,35 W_{\text{мг}}$, где $W_{\text{мг}}$ — максимальная гигроскопичность, определяемая по методу А. В. Николаева [188].

Зная общий запас влаги в метровом слое почвы и среднюю ее плотность, можно рассчитывать среднюю относительную влажность этого слоя по формуле А. А. Роде [188]

$$W = \frac{10V}{\delta h}, \quad (1)$$

где W — относительная влажность почво-грунтов (%); V — запас влаги в рассматриваемом слое почвы (мм); δ — средняя плотность минерального скелета почвы (г/см^3); h — глубина слоя почвы (см). Так как наблюдений за осенней влажностью почв крайне недостаточно и ряды этих наблюдений, как правило, непродолжительны, возникает необходимость рассчитывать ее на основе многолетних данных характеристик увлажнения почвы для данного района (осадки, испарение, сток).

А. С. Конторщиков [102] предложил для Европейской территории СССР по материалам агрометеостанций, имеющих сравнительно длительный период наблюдений (10—15 лет), следующую зависимость:

$$W_{\text{ос}} = W_{\text{нв}} \left(\frac{X}{Z_0} \right)^{0,75}, \quad (2)$$

где W_{oc} — средний многолетний запас продуктивной влаги в метровом слое почвы осенью на дату перехода температуры воздуха через 5°C (мм); $W_{нв}$ — наименьшая влагоемкость метрового слоя почвы (мм); X — сумма осадков за теплый период года от даты перехода температуры через 5°C весной до даты перехода ее через 5°C осенью (мм); Z_0 — испаряемость (максимально возможное испарение) за этот же период (мм, берется по карте Л. П. Серяковой для Европейской территории СССР).

Проверка зависимости (2) по материалам агрометеостанций, имеющих длительные ряды наблюдений, показала, что она неприменима для условий Кулундинской степи.

Принимая основные положения А. С. Конторщикова об определяющей роли (наряду с осадками) суммарного испарения за теплый период года, нами определена связь между запасами продуктивной влаги осенью и отношением осадков к максимально возможному испарению за теплый период года для условий Кулундинской степи. Качественно эта связь проявляется весьма отчетливо.

Для установления этой зависимости были отобраны из агроклиматических справочников Новосибирской области и Алтайского края данные 13 агрометеостанций с продолжительностью наблюдений за влажностью почвы 16—22 года. Результаты расчетов приведены в табл. 19. Данные об осадках и испаряемости взяты за период от даты перехода температуры воздуха через 5°C весной до даты перехода ее через 0°C осенью.

Таблица 19

Агрометеостанция	W_{oc} (мм)	$W_{oc}/W_{нв}$	X_0/Z_m	Агрометеостанция	W_{oc} (мм)	$W_{oc}/W_{нв}$	X_0/Z_m
Татарск	154	0,855	0,582	Баево	128	0,712	0,479
Ордынское	124	0,689	0,514	Волчиха	112	0,621	0,402
Огурцово	140	0,778	0,528	Камень	123	0,682	0,434
Карасук	110	0,619	0,382	Михайловский			
Купино	125	0,662	0,412	содокомбинат	91	0,511	0,335
Краснозерское	122	0,681	0,451	Родионо	113	0,632	0,405
Барнаул	111	0,617	0,455	Хабары	115	0,634	0,449

Примечание. Почвы — суглинистые. Средний запас влаги составляет 120 мм, а наименьшая влагоемкость 180 мм.

Максимально возможное испарение для Кулундинской степи рассчитывалось по формуле В. С. Мезенцева [135]:

$$Z_m = 0,0274e^2 \sum d_i, \quad (3)$$

где e — многолетняя среднегодовая абсолютная влажность воздуха (мм); $\sum d_i$ — сумма среднесуточных дефицитов влажности воздуха за расчетный интервал времени (мм).

Данные, приведенные в табл. 19, хотя и осреднены во времени, но представляют собой только выборку из генеральной совокупности, характеризующей истинное распределение влажности почвогрунтов в условиях Кулундинской степи. В связи с тем что большинство правил для оценки и сравнения статистических данных выведено для нормального распределения, определяем, пользуясь методами математической статистики, имеет ли эта генеральная совокупность нормальное распределение. Для приближенной проверки гипотезы нормальности распределения были использованы эмпирическая асимметрия S_k и эмпирический эксцесс E_k , а также их средние квадратичные отклонения [212]:

$$\sigma_{S_k} = \sqrt{\frac{6(n-1)}{(n+1)(n+3)}}, \quad (4)$$

$$\sigma_{E_k} = \sqrt{\frac{24n(n-2)(n-3)}{(n-1)^2(n+3)(n+5)}}, \quad (5)$$

где n — объем выборки.

Результаты расчетов представлены в табл. 20, из которой видно, что величины Σ_k и E_k невелики по сравнению с σ_{S_k} и σ_{E_k} , т. е. можно считать, что совокупность имеет нормальное распределение

Таблица 20

Величина	S_k	E_k	σ_{S_k}	σ_{E_k}
W_{oc}	0,62	—0,54	0,57	0,83
W_{oc}/W_{HB} . . .	0,65	—0,57	0,57	0,83
X_0/Z_m	0,68	—0,95	0,57	0,83

Примечание. Число членов ряда $n=13$.

Попытаемся оценить точность подсчета по имеющимся у нас данным фактических наблюдений. При вероятности, равной 0,75 (расчетная обеспеченность, применяемая в агрогидрологических и мелиоративных расчетах), неизвестная генеральная средняя a (мм) заключена в пределах

$$120 - 15 < a < 120 + 15,$$

где $W_{cp,oc}=120$ мм — средняя выборки; $\varepsilon=15$ мм — достоверность подсчета, по данным табл. 19. Аналогичным способом была выявлена нормальность распределения W_{oc}/W_{HB} и X_0/Z_m . Методом наименьших квадратов попытаемся получить искомое уравнение. С этой целью введем следующие обозначения: $X_0/Z_m=x$; $W_{oc}/W_{HB}=y$. Корреляционная кривая на графике рис. 5 имеет вид параболы, уравнение которой в общем виде

$$y = Ax^a. \quad (6)$$

Логарифмическая анаморфоза этого уравнения примет вид

$$\lg y = \lg A + \alpha \lg x. \quad (7)$$

Обозначим $\lg y = v$; $\lg x = u$; $\lg A = c$. Тогда получим уравнение

$$v = c + \alpha u. \quad (8)$$

По методу наименьших квадратов найдем искомые коэффициенты c , α , при этом формула примет следующий вид:

$$W_{oc} = W_{HB} \left[1,247 \left(\frac{X_0}{Z_m} \right)^{0,778} \right], \quad (9)$$

где W_{oc} — средний многолетний запас продуктивной влаги в метровом слое почвы на дату перехода температуры воздуха через 0°C осенью (мм); W_{HB} — наименьшая влагоемкость метрового слоя почвы (мм); X_0 — сумма осадков за период от даты перехода температуры воздуха через 5°C весной до даты перехода через 0°C осенью (мм); Z_m — суммарное испарение за этот же период (мм).

В связи с тем что фактические данные для W_{oc} , Z_m и X_0 взяты на момент перехода температуры воздуха через 0°C , влажность, определенная по формуле (9), относится к моменту замерзания, так как для большинства степных районов Западной Сибири начало промерзания почвы практически совпадает по времени с переходом температуры воздуха через 0°C [209].

Коэффициент корреляции между W_{oc} и X_0/Z_m равен $0,881 \pm 0,038$. Эту связь с большой степенью вероятности можно считать реальной [160, 212], так как

$$\frac{|r|}{\sigma_r} = r \sqrt{n-1} = 0,881 \sqrt{12} = 3,05 > 3,$$

где r — коэффициент корреляции; σ_r — среднее квадратичное отклонение; n — число членов ряда.

Используя критерий Фишера для нормального распределения устанавливаем, что при вероятности, приближенно равной 0,75, действительный коэффициент корреляции заключен между 0,64 и 0,96, на основании чего можно считать связь вполне пригодной для практического использования.

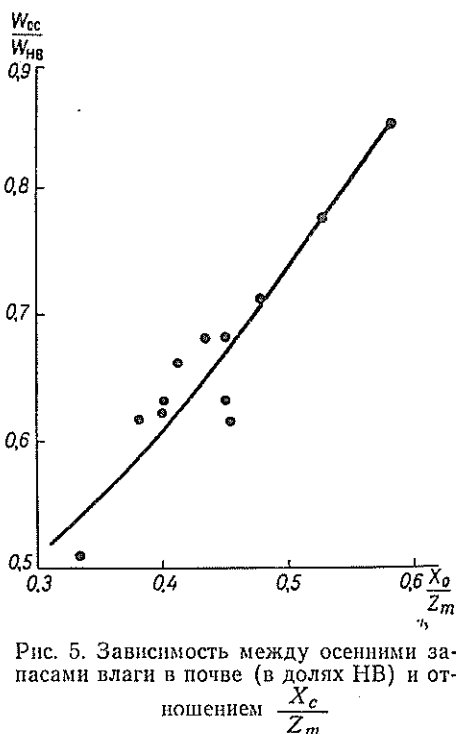


Рис. 5. Зависимость между осенними запасами влаги в почве (в долях НВ) и отношением $\frac{X_0}{Z_m}$

Следовательно, для прогнозирования осеннего увлажнения почвы в естественных условиях Кулундской степи можно пользоваться формулой

$$W'_{oc} = W_{нв} \left[1,247 \left(\frac{X_0}{Z_m} \right)^{0,778} \right] + 1,35 W_{мг}, \quad (10)$$

где $W_{мг}$ — запас влаги в метровом слое почвы, соответствующий максимальной гигроскопичности.

В качестве примера вычислим средние многолетние запасы влаги и относительную влажность верхнего метрового слоя почвогрунтов перед промерзанием на метеостанции Мамонтово (Алтайский край). Почва — средний суглинок (малогумусный чернозем), наименьшая влагоемкость которого равна 250 мм (см. табл. 9). Средняя влажность завядания, по данным станции, равна 7,8%. Запас влаги, соответствующий влажности устойчивого завядания, составляет 90 мм. Суммы осадков и дефицита влажности воздуха за расчетный период равны соответственно $X_0 = 212$ мм и $\Sigma d_i = 672$ мм. Средняя годовая абсолютная влажность воздуха $e = 5,2$ мм. Отсюда максимально возможное испарение за расчетный период $Z_m = 484$ мм и, следовательно, $X_0/Z_m = 0,417$.

По формуле (10) находим, что запас влаги в метровом слое почвогрунтов

$$W'_{oc} = 168 + 90 = 258 \text{ мм},$$

где 168 мм — запас продуктивной влаги. Отсюда средняя относительная влажность метрового слоя равна 20% при объемном весе почвы 1,29 г/см³.

Запасы продуктивной влаги, по материалам фактических наблюдений [173], равны 160 мм, т. е. ошибка вычисления по формуле (9) не превышает 5%.

Выводы

1. Каштановые почвы Центральной Кулунды и Павлодарского плато, маломощные (южные) черноземы Северной Кулунды и Приобского плато по агрогидрологическим и мелиоративным свойствам являются ценными в сельскохозяйственном и агрономическом отношении. Однако водный режим этих почв, как правило, неблагоприятен для сельскохозяйственных культур и не обеспечивает нормального снабжения продуктивной влагой на период вегетации.

2. Запасы влаги в метровом слое почвы при наименьшей (полевой) влагоемкости составляют для супесчаных южных черноземов и каштановых почв 1500—2000 м³/га, для легкосуглинистых 2000—2200 м³/га и для среднесуглинистых 2500—2800 м³/га. Максимальные запасы продуктивной влаги (перед посевом) в метровом слое почвы южных черноземов 900—1200 м³/га, а каштановых почв — 600—900 м³/га. К концу вегетационного периода запасы продуктивной влаги под яровой пшеницей в верхнем полуметровом слое

почвы весьма незначительны либо равны нулю (конец августа). В нижнем полуметровом слое влажность почвы практически близка к влажности завядания.

3. Для расчета потерь воды на фильтрацию из оросительной сети и соотношений между элементами техники поверхностного полива рекомендуется придерживаться следующих значений скорости впитывания:

а) для временной сети (из расчета на 24 ч): на каштановых легкосуглинистых и супесчаных почвах 0,162—0,287 см/мин, на южных черноземах (суглинках) 0,017—0,043 см/мин и на солонцово-солончаковых почвах 0,002—0,004 см/мин;

б) для поливных борозд (из расчета на 24 ч при первом поливе): на каштановых супесчаных почвах 0,177—0,483 см/мин, на южных черноземах (суглинках) 0,067—0,192 см/мин и на солонцовых почвах 0,01—0,022 см/мин.

4. Величина осеннего увлажнения почвы может быть определена на основе зависимости (10) с учетом механического состава почв, количества осадков и суммарного испарения за теплый период года.

ГЛАВА 3 РЕСУРСЫ ПОВЕРХНОСТНЫХ И ПОДЗЕМНЫХ ВОД И ПУТИ ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ДЛЯ ОРОШЕНИЯ

Первые сведения о режиме поверхностных вод рассматриваемой территории относятся к концу XIX в. Сведения о состоянии озер в степи имеются в работах А. В. Шнитникова [261] и др. Стационарные гидрологические исследования на реках Кулундинской степи, организованные Западно-Сибирским управлением Гидрометслужбы, начались с 1933 г. В монографии П. С. Кузина [113] в числе южных районов Западной Сибири рассматривается также и Кулундинская степь. Сведения по гидрологии региона имеются и в более поздних работах [1, 4, 19, 39, 45, 87, 91, 100, 135, 147, 157, 169, 176, 218, 247, 260, 271 и др.]. Большим вкладом в изучение гидрологических условий Кулундинской степи явилась монография Государственного гидрологического института «Водные ресурсы равнинной части Алтайского края и южных районов Новосибирской области». Гидрогеологические условия Кулундинской степи описаны в работах [22, 23, 47, 238 и др.].

В литературе почти отсутствуют исследования формирования склонового стока, а также стока снеговых вод с различных сельскохозяйственных угодий и с засоленных почв. Не найдены соотношения между объемами поверхностных и подземных вод, которые могут быть использованы при условии сохранения стабильного уровня подземных вод. В настоящей главе сделана попытка выяснить эти вопросы.

3.1. Общие сведения о поверхностном стоке

Обь-Иртышское междуречье в пределах Кулундинской степи является областью замкнутого стока. Наиболее значительные реки — Баган, Бурла, Карасук, Кулунда, Кучук доносят свои воды до больших водоемов (озер Кулундинского, Кучукского и Большого Аж-Булат) или заканчиваются в заболоченных понижениях и мелких степных озерах. Верхние участки рек расположены на Приобском плато, где их долины врезаны в широкие древние ложбины стока. В межень эти реки питаются грунтовыми водами. Русла рек мелкие, сильно извилистые, заросшие. В связи с этим в нижнем течении их имеют место большие потери весеннего стока на аккумуляцию и испарение в поймах, что вызывает уменьшение максимальных и средних расходов половодья по длине рек. Для низовья р. Карасук характерно отделение бифуркационных проток, уходящих в другие речные системы (р. Баганенок впадает в р. Баган, р. Чуман — в р. Бурлу).

В южной части Кулундинской степи речная сеть развита слабо. Постоянный сток в этом районе имеют лишь реки, берущие начало на Приобском плато (реки Кучук, Суетка, Волчиха); остальные реки летом пересыхают. На Павлодарском плато и на Прииртышской равнине в пределах Кулундинской степи вообще отсутствует речная сеть.

Для режима рек и временных водотоков характерно резко выраженное весеннее половодье, на которое приходится от 65 до 100% объема годового стока. Дождевых паводков почти не бывает. Половодье на реках начинается чаще всего в первой декаде апреля, а заканчивается в конце мая — начале июня, на малых водотоках — в конце апреля. Продолжительность половодья на основных реках около 1,5—2 месяцев, на малых реках и временных водотоках половодье кратковременно, 10—12 дней.

На большинстве рек Кулундинской степи весной ежегодно наблюдается выход воды на пойму. Продолжительность разлива в среднем составляет 15—30 дней, в многоводные годы — до 50—60 дней. После окончания весеннего половодья небольшой сток сохраняется лишь на реках древних ложбин — Бурле, Кулунде и их притоках, а также на некоторых водотоках, стекающих с Приобского плато, реках Суетке, Кучуке и др. Большинство малых водотоков площадью водосбора менее 500 км² после весеннего половодья пересыхает.

3.2. Ресурсы поверхностных вод

Водные ресурсы Кулундинской степи состоят из стока рек, временных водотоков, а также из многолетних запасов воды в речных плёсах и озерах. Сток рек составляет около 890 млн. м³ в средний по водности год (табл. 21). По данным, полученным экспедицией ГГИ в 1957—1958 гг., суммарный объем воды в плёсах части рек и временных водотоков ориентировочно составляет около 20 млн. м³ [45]. Исследованиями ГГИ также установлено, что увеличение среднего годового стока с уменьшением площади водосбора происходит по двум причинам. Снеговые воды частично аккумулируются в понижениях, где они расходуются на фильтрацию и испарение. Причем относительная величина площади бессточных понижений возрастает с увеличением водосбора.

Кроме того, русла рек являются существенными аккумуляторами снега. А так как длины водотоков возрастают медленнее, чем их водосборные площади, то снегозапасы, а следовательно, и сток водосборов тем больше, чем меньше площадь бассейна.

Поэтому потенциальные ресурсы местного поверхностного стока в Кулундинской степи значительно превышают объем стока рек (табл. 23). Поверхностный сток может быть определен по рекомендации ГГИ с учетом площади бассейна. Если при использовании местного стока ориентироваться на створы с площадью водосбора 50 км², то их величина составит 1461 млн. м³, а при расчете на площади 100 и 200 км² — несколько меньше, соответственно 1163 и 958 млн. м³ (табл. 22, 23).

Таблица 21

Объем годового стока рек Кулундинской степи для лет разной обеспеченности (составлена гидрологами
Ленгипроводхоза Е. П. Крутецкой, И. А. Галиновской и автором по материалам ГГИ)

Река, притоки	Створ	Площадь водосбора (км ²)	Параметры годового стока				Объем годового стока (млн. м ³) обеспеченностью (%)					
			h мм	средний многолет- ный объем (млн. м ³)	коэффи- циент ва- риации C_v	коэффи- циент ас- симмет- рии C_s	10	25	35	50	75	95
АЛТАЙСКИЙ КРАЙ												
Левобережные притоки р. Барнаулки		1 970	18,9	37,2	0,47	$2C_v$	60,7	46,9	41,4	34,5	24,4	13,9
Касмала	Устье	2 550	45,4	115,8	0,38	"	175,0	141,5	127,7	110,2	83,7	54,5
Волчиха	с. Устье-Волчиха (63,5 км от ус- тья)	788	5,2	4,10	0,60	"	7,40	5,48	4,60	3,6	2,3	1,0
Кучук	Устье	1 020	18,7	19,0	0,39	"	29,0	23,3	21,0	18,0	13,6	8,7
Кулуида	с. Шимолино	12 300	14,2	174,7	0,58	"	310,0	229,0	195,7	155,8	99,9	47,7
Суетка	Устье	961	15,8	15,2	0,73	"	30,0	20,7	16,9	12,6	7,1	2,5
Бурла	При впадении в оз. Усть-Янка	7 031	14,8	104,0	1,05	"	244,5	144,4	108,0	69,3	27,4	4,2
Левобережные притоки р. Оби с площадью водосбора более 100 км ²		1 500	—	63,0	0,5—0,6	"	109,3	81,8	70,2	56,6	37,0	18,5
Итого по краю		28 119	—	533,0	—	—	965,9	693,0	585,5	460,0	295,4	151,0
НОВОСИБИРСКАЯ ОБЛАСТЬ												
Карасук	Краснозерское	5 820	10,8	62,5	0,80	$2C_v$	129,0	85,6	69,0	50,0	26,0	7,5
Баган	оз. Баган	7 280	3,2	23,0	1,04	"	54,0	31,9	24,0	15,4	6,2	1,0
Сума (приток Чулыма)	Устье	3 230	37,8	122,0	0,99	"	290,0	168,0	129,7	85,2	35,9	6,5
Левобережные притоки р. Оби с площадью водосбора более 100 км ²		3 450	—	149,0	0,5—0,6	"	258,5	193,5	166,2	135,0	91,0	47,0
Итого по области		19 780	—	356,5	—	—	731,5	479,0	389,0	285,6	159,1	62,0
Всего		47 899	—	889,5	—	—	1 697,4	1 172,0	974,0	745,6	454,5	213,0

Ресурсы местных поверхностных вод Кулундинской степи в средний по водности год (по данным ГГИ)

Водосбор	Административный район	Расчетная площадь 50 км²			Расчетная площадь 100 км²			Расчетная площадь 200 км²		
		объем стока (млн. м³)								
		общий	поступающий в реки	остающийся на водосборе	общий	поступающий в реки	остающийся на водосборе	общий	поступающий в реки	остающийся на водосборе
Озера Тухлое, Молока, оз. Горького и др.	Купинский	56,0	—	56,0	47,3	—	47,3	38,6	—	38,6
Реки Карасук и Баган	Карасукский, Краснозерский	300,0	90,0	210,0	240,0	90,0	150,0	195,0	90,0	105,0
р. Бурла	Каменский, Хабаровский, Слав- городский	252,0	104,0	148,0	210,0	104,0	106,0	172,0	104,0	68,0
Озера Кулундинское, Кучукское, Бурлин- ское, Малое Яровое, Большое Яровое и др.	Славгородский, Хабаровский, Кулундинский, Благовещен- ский, Родинский, Ключев- ской, Михайловский	230,0	—	230,0	146,0	—	146,0	120,0	—	120,0
р. Суетка	Хабарский	30,3	15,2	15,1	24,2	15,2	9,0	21,2	15,2	6,0
р. Кулунда	Каменский, Тюменцевский, Завьяловский, Благовещен- ский	340,0	176,0	164,0	281,0	176,0	105,0	231,0	176,0	55,0
р. Кучук	Родинский	32,2	19,0	13,2	25,7	19,0	6,7	22,5	19,0	3,5
оз. Горькое	Мамонтовский, Михайловский	70,5	—	70,5	60,0	—	60,0	49,5	—	49,5
р. Волчиха	Михайловский	6,1	4,1	2,0	4,6	4,1	0,5	4,2	4,1	0,1
р. Касмала	Ребрихинский	144,0	96,5	47,5	124,0	96,5	27,5	104,0	96,5	7,5
Всего		1461,0	504,5	956,5	1163,0	504,5	658,5	958,0	504,5	453,5

Объем весеннего местного стока Кулундинской

Область, край	Характеристика стока	Гидрологический район (по карте ГГИ)	Площадь (тыс. км ²)	
			общая	распаханная
Новосибирская область	Местный сток, остающийся на водосборах рек	III	7,28	2,91
		IV	10,67	4,2
	Местный сток с территории бассейнов замкнутых озер и малых водотоков	V	1,83	0,73
		III	17,68	7,00
		V	0,4	0,16
Итого			37,85	15,00
Алтайский край	Местный сток, остающийся на водосборах рек	II	0,79	0,40
		III	1,02	0,66
	Местный сток с территории бассейнов замкнутых водотоков	IV	25,81	14,0
		V	0,50	0,35
		II	23,10	16,6
Итого			51,22	32,01
Павлодарская область	Местный сток с территории бассейнов замкнутых озер и малых водотоков	III	5,0	2,4
		I	33,0	18,0
Итого			38,0	20,4
Всего по территории	Местный сток, остающийся на водосборах рек	II—V	47,9	23,25
Кулундинской степи	Местный сток с территории бассейнов замкнутых озер и малых водотоков	I, III, V	79,18	44,16
Всего			127,08	67,41

Примечание. 1. В общую площадь не включены площади водной по
2. Для Алтайского края и Новосибирской области с пахотных площадей
сти 50%.

Таблица 23

степи для лет разной обеспеченности

Годовой сток (мл)	$\frac{c_{\text{в}}}{c_{\text{с}}}$	Объем стока из условного расчета на $F=100 \text{ км}^2$							
		с общей площади				с распаханной площади			
		средний многолетний	обеспеченностью (%)			средний многолетний	обеспеченностью (%)		
			25	50	95		25	50	95
8	$\frac{1,0}{1,8}$	51,2	72,7	36,6	0,0	16,2	23,0	11,6	0,0
10	$\frac{1,0}{1,8}$	94,1	133,0	67,5	0,0	29,4	41,7	21,2	0,0
16		25,8	36,7	18,6	—	8,2	11,6	5,9	—
8	$\frac{1,1}{1,8}$	124,6	182,0	76,0	0,0	39,2	57,3	23,8	0,0
16		5,6	8,2	4,0	—	1,8	2,6	1,3	—
—	—	301,3	432,6	202,7	0,0	94,8	136,2	63,8	0,0
3	—	2,0	2,8	1,44	0,0	0,84	1,2	0,61	0,0
8	$\frac{1,0}{1,8}$	6,6	9,4	4,75	0,0	3,70	5,3	2,66	0,0
10	—	216,1	307,0	155,0	0,0	98,0	139,0	70,5	0,0
16		6,3	9,0	4,5	—	3,9	5,5	2,8	—
3	$\frac{1,2}{1,8}$	54,3	81,0	33,0	0,0	34,8	52,3	21,2	0,0
—	—	285,3	409,7	198,6	—	141,24	203,3	97,77	0,0
8	$\frac{1,2}{1,8}$	30,4	45,6	18,5	0,0	9,6	14,4	5,85	0,0
2		48,0	72,0	29,2	0,0	18,0	27,0	11,0	0,0
—		78,0	117,6	47,7	—	27,6	41,4	16,85	0,0
—	—	402,1	570,6	288,39	0,0	160,24	227,3	115,27	0,0
—	—	262,9	389,3	160,7	0,0	103,4	153,6	63,15	0,0
—	—	665,0	959,9	449,09	0,0	263,04	380,9	178,42	0,0

верхности озер и площадь поймы р. Оби.
 принято (по рекомендации ГГИ) снижение стока 30%, для Павлодарской обла-

В бессточных понижениях и озерах Кулундинской степи в средний по водности год задерживается около половины объема местного стока. Однако часть местного стока, остающаяся на водосборе и бесполезно теряющаяся на физическое испарение, вполне может быть использована на лиманное и регулярное орошение. В среднем для этих целей может быть использован сток величиной 0,8—1,0 млрд. м³.

Как видно из табл. 22 и 23, воды местного стока, формирующиеся в пределах речных водосборов Обь-Иртышского междуречья, значительно превышают фактический приток в гидрографическую сеть. Они являются потенциальными водными ресурсами и в настоящее время бесполезно теряются на испарение в многочисленных озерах и займищах. Как заметил К. П. Воскресенский [44], не все потенциальные местные водные ресурсы могут быть использованы для орошения. При расчетах использования местного стока, например, для лиманного орошения должны быть исключены земельные участки водосборов, имеющие большую инфильтрационную способность. Кроме того, следует учитывать, что часть местного стока будет непосредственно задержана на полях при высокой культуре земледелия.

По мнению Воскресенского [44], Мезенцева [136], Островной [168] и Шумакова [269], при определении величины местного стока, которая может быть использована для мелиорации, например для лиманного орошения, следует также учитывать степень озерности и заболоченности территории. Более подробно расчет использования местного стока для лиманного и регулярного орошения изложен в последующих главах.

3.3 Склоновый сток

Экспериментальные исследования элементов склонового стока в различных зонах страны были проведены М. И. Баюшевой [19], В. Д. Быковым [34], А. П. Бочковым [33], К. П. Воскресенским [44], А. М. Грином, Г. В. Назаровым [57], И. А. Кузником [116], И. А. Кузнецовым [114], В. И. Корзуном [103], М. И. Львовичем [127], В. С. Мезенцевым [135], Л. Г. Онуфриенко [164], А. Д. Саваренским [194], А. И. Субботиным [221], И. П. Сухаревым [224], С. И. Харченко [241], А. И. Чеботаревым [246], Г. Р. Юновым [272] и др. Теоретическая схема расчета склонового стока была выполнена Г. А. Алексеевым [7], Г. П. Калининым [85], Д. Л. Соколовским [217].

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. Русловой сток в этом случае отсутствует полностью. Отсюда возникает вопрос: какова ве-

личина склонового стока и может ли он рассчитываться по картам изолиний среднего многолетнего стока, составленным на основании материалов о стоке в створах крупных рек.

Определение величины стока с единицы водосборной площади по картам изолиний среднего многолетнего модуля стока, составленным Зайковым и Кузиным, может привести к существенной ошибке, так как изолинии обычно не учитывают единичных данных стока с малых ($< 500 \text{ км}^2$) и особенно с 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 и иметь различные величины стока как по сравнению со всем бассейном, так и между собой.

Проверка коэффициентов склонового и руслового стока выполнена нами весной 1954—1957 гг. в Родинском и Панкрушихинском районах Алтайского края, а весной 1957, 1963 и 1964 гг. — в Баганском и Купинском районах Новосибирской области. Для этой цели использовались первый и четвертый ярусы мелководных лиманов, расположенных на склоне юго-восточной экспозиции, а также площади малых водосборов балки Зеленый Луг, Новороссийского лога и бассейна Родинского озера.

Площади водосборов мелководных лиманов составляли 84 и 57 га. В местах пересечения этих валов с валами мелководного лимана в 1954 г. установлены трапецеидальные водосливы (ширина порога 80—120 см). Таким образом измерен в чистом виде склоновый сток. Параллельно измерялись расходы воды в соседних логах и балках при помощи гидрометрической вертушки (балка Зеленый Луг и Новороссийский лог).

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 (табл. 24). Таким образом, в 1954 г. сток со склона равнялся в среднем 62,6 мм, а с Новороссийского лога — 77 мм, запас воды в этом логе составлял 20,4 мм. В данном случае русловой 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. Следовательно, в 1955 г. сток со склона был равен в среднем 35,4 мм, а с Новороссийского лога — 45,6 мм, запас же воды в этом логу составлял 15,2 мм. В данном случае русловой сток равнялся $45,6 - 35,4 = 10,2$ мм, а коэффициент руслового стока $K = 0,67$.

В 1956 г. сток со склонов равен в среднем 11,6 мм, а с Новороссийского лога — 18,4 мм, снегозапасы в этом логу составляли 13,2 мм. Русловой сток в 1956 г. равен $18,4 - 11,6 = 6,8$ мм, а коэффициент руслового стока $K = 0,54$.

Расчет коэффициента стока с малых водосборов по данным наблюдений весной 1954—1956 гг. (Родинский район Алтайского края, бассейн р. Кучук)

Водосбор	Площадь водосбора (км ²)	Измеренный запас воды в снеге (мм)	Осадки после снеготаяния (мм)	Общая сумма осадков (мм)	Сток (м ³)	Слой стока (мм)	Коэффициент стока
1954 г.							
Створ на балке Зеленый Луг	158,0	112,0	12,3	124,3	10 394 400	65,8	0,53
Створ на Новороссийском логу	4,17	129,0	12,3	141,3	301 900	77,0	0,55
Бассейн Родинского озера	9,67	84,0	12,3	96,3	577 300	59,7	0,62
Первый ярус мелководного лимана	0,84	66,1	12,3	78,4	52 700	62,7	0,80
Четвертый ярус мелководного лимана	0,57	80,0	12,3	92,3	35 200	61,7	0,67
1955 г.							
Створ на балке Зеленый Луг	158,0	82,4	0,5	82,9	6 418 400	40,6	0,49
Створ на Новороссийском логу	4,17	89,3	0,5	89,8	190 150	45,6	0,51
Первый ярус мелководного лимана	0,84	54,1	0,5	54,6	32 100	38,2	0,70
Четвертый ярус мелководного лимана	0,57	51,3	0,5	51,8	18 400	32,6	0,63
1956 г.							
Створ на балке Зеленый Луг	158,0	37,2	8,0	45,2	2 435 200	15,4	0,34
Створ на Новороссийском логу	4,17	39,4	8,0	47,4	76 700	18,4	0,43
Первый ярус мелководного лимана	0,84	16,6	8,0	24,6	9 400	12,2	0,43
Четвертый ярус мелководного лимана	0,57	15,4	8,0	23,4	6 270	11,0	0,47

При расчете коэффициента поверхностного стока (табл. 25) расход снега на испарение за период снеготаяния был определен по данным наблюдений (0,25 мм/сут.), а расход на аккумуляцию в микропонижениях — из работы [99], причем последний в условиях значительного уклона водосборной площади составил 5—8 мм.

Коэффициенты весеннего стока для рек Кулундинской степи сравнительно невелики и составляют иногда сотые доли (для рек с площадью водосбора более 1000 км²). Так, весной 1954 г. коэффициенты стока Кулундинских рек при площадях водосборов от 800 до 4000 км², по данным Западно-Сибирского УГМС, составил

Таблица 25

Расчет коэффициента поверхностного стока (мм)
с бассейна Родинского озера по данным
снегозапасов 1955, 1956 и 1957 гг. (Родинский район
Алтайского края)

Расчетная величина	1955 г.	1956 г.	1957 г.
Снегозапасы перед началом снеготаяния	75,0	45,0	82,0
Осадки за период снеготаяния			
Потери снеговых вод	0,5	8,0	5,0
на инфильтрацию	29,1	25,5	21,1
на аккумуляцию в пони- жениях рельефа	5,0	5,0	8,0
на испарение за период снеготаяния	3,0	4,0	4,5
Поверхностный сток	38,4	18,5	53,5
Коэффициент стока	0,51	0,35	0,61

0,1—0,02. На малых же водосборах внутри этих бассейнов, по фактическим наблюдениям на балке Зеленый Луг с площадью водосбора 158 км², в бассейне р. Кучук, а также на водосборе площадью около 20 км² в бассейне р. Бурлы коэффициент стока наблюдался не ниже 0,53 (1954 г.). Весной 1955 г. на этом же водосборе коэффициент стока составил около 0,49. Величины такого же порядка (0,51) нами получены для бассейна Родинского озера (площадь водосбора около 10 км²). Весенний поверхностный сток с малых водосборов в Кулундинской степи больше по величине и менее изменчив по площади, чем сток больших бассейнов [147].

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 [115], 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 с распаханной площади — только 0,10—0,12. На основании этих материалов Кузник считает, что в Поволжье русловой сток составляет в среднем около 20—25% весеннего стока и до 50% стока маловодного года, а в бассейне р. Узень — до 100% стока маловодного года.

Наши исследования в Кулундинской степи (на Приобском плато) такой закономерности не подтвердили. В многоводный 1954 г. коэффициент стока со средней и приводораздельной частей склона, занятых залежью, доходил до 0,80. Самый малый коэффициент склонового стока, который мы наблюдали на четвертом ярусе мелководных лиманов, был 0,47. Однако это не значит, что он не может быть еще меньше. Если учесть все факторы,

влияющие на формирование стока, то становится ясно, что единых рекомендаций и единых методов расчета склонового стока в различных районах СССР быть не может.

Попробуем рассмотреть основные отличия стока с бассейна реки от стока со средней и приводораздельной частей склонов в Кулундинской степи (Приобское плато) и дать ориентировочные рекомендации по его расчету. Прежде всего сопоставим сток с бассейна небольшой (площадь водосбора 1020 км²) реки Кучук со склоновым стоком в совершенно различные по характеру вёсны 1954—1957 гг. (табл. 26). Склоновый сток измерялся в лоциино-балочной сети, расположенной на водосборе этой же реки.

Таблица 26

Величина и коэффициент стока р. Кучук и стока со средних и приводораздельных частей склонов в 1954—1957 гг.

Год	Величина стока (мм)		Коэффициент стока	
	речного	склонового	речного	склонового
1954	14,1	62,0	0,14	0,80
1955	21,7	35,4	0,28	0,70
1956	5,2	11,6	0,16	0,50
1957	20,6	55,9	0,22	0,62

Из табл. 26 видно, что, несмотря на различие в типах весен, во всех случаях величина склонового стока была в 1,5—3 раза больше речного. Результат близок к данным, полученным Е. Д. Сабо [192] для условий Ергеней (Поволжье) и Б. Б. Шумаковым [269] для Ростовской области.

Таким образом, полученные нами величины и коэффициенты стока со средних и приводораздельных частей склонов в различные типы весен 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 мелководных лиманов.

При планировании использования водных ресурсов важно оценить изменения стока, происходящие в результате освоения целинных и залежных земель [58]. В опытах А. И. Решетникова, проведенных на Валдайской гидрологической станции, коэффициент весеннего стока со склона, распаханного под зябь, в течение 2 лет из 3 был значительно меньше, чем на склоне, занятом целиной. Аналогичный вывод об уменьшении поверхностного стока во время весеннего снеготаяния на распаханых склонах по сравнению с залежью для Валдая сделал П. А. Урываев [231]. По данным И. А. Кузника, 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 бóльшие величины стока получаются на старопашке. Особенно резко увеличивается сток на уплотненных полях, занятых травосмесями, залежью и озимыми посевами, где он достигает значительной величины иногда и в маловодные годы. Сток с зяби возможен, как и с залежи, в годы, когда поверхность почвы покрыта ледяной коркой. Этот вывод Кузника не согласуется с ранее сделанными выводами П. Г. Кабанова, согласно исследованиям которого с поля, занятого многолетними травами, сток значительно меньше, чем с зяби и озимых.

Кабанов рассчитывал сток по величинам изменения влагозапасов в почве, поэтому полученные им данные нельзя считать достоверными. Интересные сведения о влиянии хозяйственной деятельности человека на сток приводит А. С. Шкляев [259] по материалам исследований в Предуралье.

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 (табл. 27).

Таблица 27

Зависимость коэффициента стока малых водосборов от площади, распаханной на зябь (Баганский район Новосибирской области, 1956 г.)

Водосбор	Площадь водосбора (км ²)	Зябь (%)	Коэффициент стока
Оз. Кузнецкое (выпасаемая степь, суглинок)	2,56	15,0	0,60
Оз. Ремовое (сенокос, суглинок)	0,89	20,0	0,49
Оз. Горькое			
№ 1 (стерня кукурузы, суглинок)	6,24	60,0	0,37
№ 2 (стерня пшеницы и целина)	7,68	40,0	0,52
Мохнаткина Ляга (сенокос, суглинок)	1,24	0	0,67
Первый ярус мелководного лимана (поперечная пахота, суглинок)	0,57	100,0	0,127

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 малой величины склонового стока.

Рассмотрим имеющиеся материалы наблюдений за 1957 г. (табл. 28) по бассейну р. Паньшихи (Центральная Кулунда). Сток наблюдался 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 (адвективное таяние).

Таблица 28

Зависимость коэффициента стока от площади, распаханной на зябь
(Панкрушихинский район Алтайского края, 1957 г.)

Водосбор	Площадь водосбора (км ²)	Зябь (%)	Коэффициент стока	Примечание
Лог № 1 (стерня пшеницы, суглинок) . . .	3,25	50,0	0,38	На поверхности почвы местами наблюдалась ледяная корка толщиной 1,5—2 см
Ручей № 1 (пахота поперечная)	0,15	100,0	0,21	
Ручей № 2 (стерня кукурузы)	0,08	10,0	0,68	
Ручей № 3 (стерня кукурузы и целина) . .	0,07	30,0	0,59	
Оз. Митино (стерня пшеницы и целина) .	1,40	25,0	0,62	

Исследования не оставляют никаких сомнений в том, что различие в величине стока с указанных бассейнов малых водосборов объясняется лишь разным 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 целесообразно дифференцированно учитывать сток с распахиваемой и нераспахиваемой площадей.

Таким образом, в годы с малыми запасами воды на поверхности почвы и большими потерями стока (1956) наблюдаются сравнительно малые величины 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 с большими запасами воды на поверхности почвы и относительно большими потерями стока (1954 и 1957) наблюда-

ются наиболее резкие различия в величинах слоя и коэффициентах склонового и руслового стока. В 1954 г. склоновый сток составил 52,0 мм, речной — 14,1 мм, коэффициент 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 величину и коэффициент склонового стока.

3.4. Весенний склоновый сток с различных сельскохозяйственных угодий

Эксперимент по изучению влияния наиболее распространенных в сельском хозяйстве приемов агротехники на величину весеннего склонового стока был поставлен в Северной Кулунде, у с. Зятково Купинского района Новосибирской области. Организация и проведение эксперимента в полевых условиях были выполнены автором, а обработку полевых материалов за 1963 г. провела М. И. Баюшева [19].

На экспериментальном участке в течение двух лет, осенью 1962 и 1963 гг., было оборудовано девять стоковых площадок размером 800 м² (20×40). Почвы на всех площадках представлены среднегумусными южными черноземами (суглинками); площадки различались лишь характером основной обработки (по две площадки со стерней пшеницы лущеной и нелущеной, с чистым паром и безотвальной пахотой, одна площадка была вспашана на зябь).

Наблюдения над склоновым стоком с этих угодий и факторами, его обуславливающими, проводились весной 1963 и 1964 гг. Были проведены измерения температуры воздуха, количества осадков, влажности почвы, запасов воды в снеге, весеннего стока. 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). Атмосферные осадки определялись осадкомером Третьякова. Влажность почвы бралась по слоям до глубины 0,5 м (в 1964 г. пробы отбирались до глубины 80—100 см). Запасы воды в снеге определялись с помощью снегомерных съемок по поперечникам. Сток измерялся объемным методом.

Распределение снежного покрова перед снеготаянием на площадках в 1963 г. было более или менее равномерным. Запасы воды в снеге были близки к среднемноголетним, 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 примерно 120 см. Продуктивная влага в верхнем полуметровом слое определялась на трех площадках (1, 2, 3) и составляла 53—74 мм (табл. 29).

Весной 1963 г. снеготаяние на стоковых площадках проходило исключительно при солярном типе погоды, а весной 1964 г., наоборот, преобладала адвективная погода. При этом отмечалась большая интенсивность снеготаяния и были явно выражены суточные волны в стоке с площадок (рис. 6). Однако объем этих волн и их максимумы на различных угодьях были неодинаковыми.

Так, например, на стерне пшеницы лущеной и нелущеной (площадки 1, 1а, 3, 3а) и на пару (площадки 4, 4а) максимум поло-

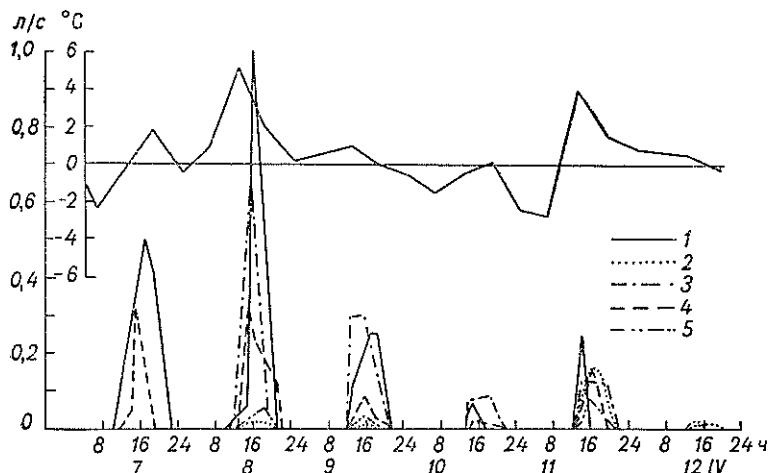


Рис. 6. Температура воздуха и сток со стоковых площадок (с. Зятковка Кулунского района Новосибирской области, 1963 г.).

1 — стерня нелущеная, 2 — зябь безотвальная, 3 — стерня лущеная, 4 — чистый пар, 5 — зябь отвальная.

водья 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).

Из табл. 29 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 нижнего полуметрового слоя. Для того чтобы исключить это явление, в 1964 г. был проведен отбор почвенных проб на влажность до глубины 100 см.

Величина поверхностного стока зависит от характера сельскохозяйственной обработки поля. Наиболее интенсивно снеговые воды поглощались на площадках, распаханых поперек склона на зябь

Весенний склоновый еток с различных сельскохозяйственных угодий в Северной Кулунде (с. Зятково Купинского района Новосибирской области)

Номер стоковых площадок	Характеристика стоковых площадок	Уклон	Максимальные запасы воды в снеге (мм)	Количество осадков после снеготаяния (мм)	Суммарный запас воды на площадке (мм)	Запас влаги в полуметровом слое почвы (мм)		Дата прохождения половодья		Слой стока (мм)	Коэффициент стока	Максимальный расход (л/с)	Дата прохождения максимального расхода
						до снеготаяния	после снеготаяния	начало	конец				
1963 г.													
1	Стерня пшеницы нелущеная	0,035	78,3	—	78,3	53,2	62,5	7IV	11 IV	37,9	0,47	1,0	8 IV
1a	То же	0,035	78,2	—	78,2	—	—	7IV	13 IV	48,7	0,62	1,0	8 IV
2	Пахота безотвальная	0,034	79,8	—	79,8	53,2	36,1	8IV	14 IV	4,2	0,05	0,17	11 IV
2a	Пахота безотвальная	0,034	103,5	—	103,5	—	—	8IV	14 IV	4,3	0,04	—	11 IV
3	Стерня пшеницы лущеная	0,033	90,2	—	90,2	74,0	90,6	8IV	11 IV	24,0	0,27	0,65	8 IV
3a	То же	0,033	84,6	—	84,6	—	—	8IV	11 IV	26,7	0,32	0,60	8 IV
4	Пар чистый	0,035	78,3	—	78,3	—	98,7	7IV	12 IV	14,9	0,19	0,50	8 IV
5	Пахота отвальная (зябь)	0,035	73,6	—	73,6	—	141,6	8IV	12 IV	3,1	0,04	0,12	11 IV
1964 г.													
1	Стерня пшеницы нелущеная	0,02	30,2	6,7	36,9	104,51 ¹	122,57	14 IV	10 IV	26,8	0,73	0,81	18 IV
2	То же	0,02	49,0	6,7	55,7	—	—	14 IV	20 IV	21,3	0,38	0,57	18 IV
3	Стерня кукурузы лущеная	0,01	20,8	6,7	27,5	104,51	122,57	14 IV	20 IV	9,0	0,33	0,63	17 IV
4	То же	0,01	29,6	6,7	36,3	—	—	10 IV	19 IV	7,2	0,20	0,14	17 IV
6	Пашня безотвальная (зябь)	0,01	38,2	6,7	43,7	—	—	24 III—7 IV	25 III—15 IV	0,9	0,02	0,029	9, 10, 13 IV
5	То же	0,02	27,4	6,7	34,1	104,51	122,57	24 III—7 IV	25 III—15 IV	0,6	0,02	0,039	10 IV

¹ В слое почвы 0—100 см.

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, 0,47 и 0,62, наблюда-

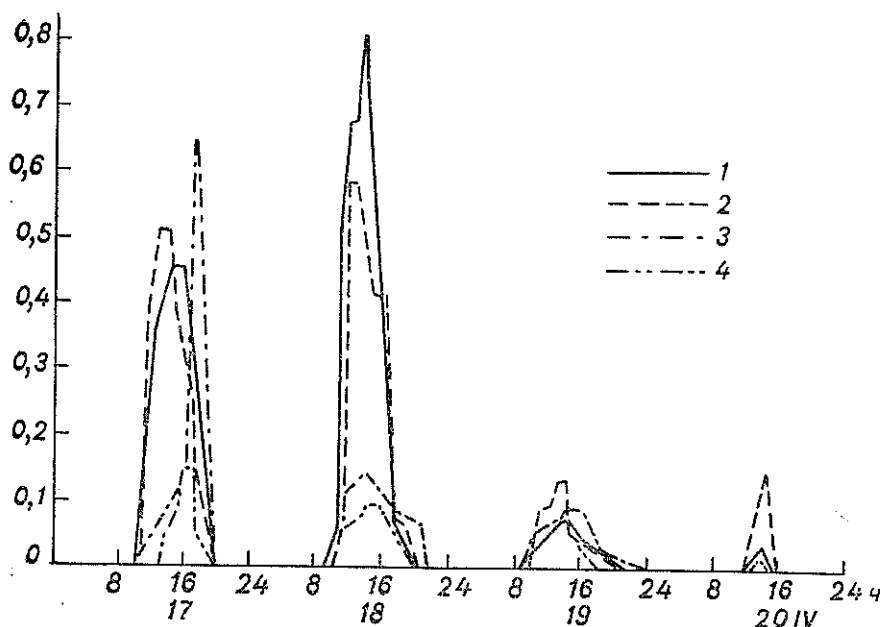
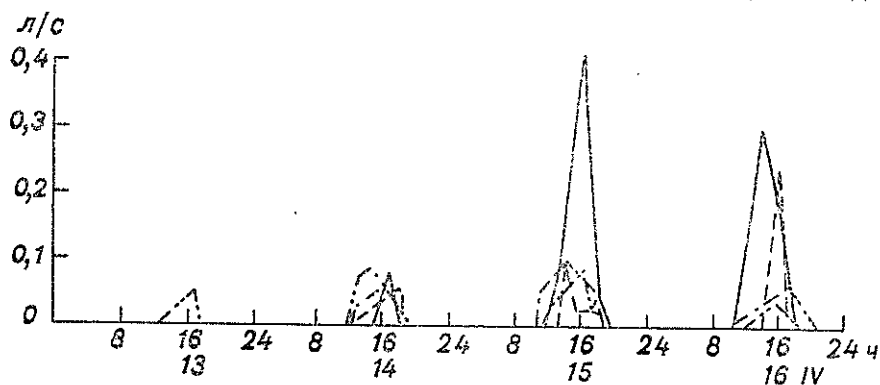


Рис. 7. Склоновый сток с различных сельскохозяйственных угодий (с. Зятковка Купинского района Новосибирской области, 1964 г.).

1 и 2 — стерня пшеницы (нелущеная), 3 и 4 — стерня кукурузы (лущеная).

лись по нелущеной стерне пшеницы (площадки 1 и 1а) при слое стока соответственно 37,9 и 48,7 мм. На лущеной стерне пшеницы и на чистом пару (площадки 3, 3а и 4) получены коэффициенты стока от 0,19 (чистый пар) до 0,32 (лущеная стерня), а слой стока — 14,9 и 26,7 мм соответственно.

Аналогичные материалы по весеннему поверхностному стоку с различных сельскохозяйственных угодий на этом же экспериментальном участке были нами получены весной 1964 г. (рис. 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 1964 г., 0,38 и 0,73, были отмечены на нелущеной стерне пшеницы (площадки 1, 2) при слое стока 26,8 и 21,3 мм. Сравнительно большая разница (в два-три раза) в величинах стока со стерни кукурузы по сравнению со стерней пшеницы объясняется также различиями в основной обработке. Стерня пшеницы была нелущеная, а стерня кукурузы — лущеная. Этим же обстоятельством определяется и разница в максимальных снегозапасах. Следовательно, величина весеннего стока 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 более ранних исследований на Приобском плато (см. табл. 24). 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 четыре раза.

3.5. 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), из них две — на губокостолбчатых солонцах и две — на содовых солончаках с высокой степенью засоления. Все площадки имели естественный покров (целина).

Наблюдения над склоновым стоком с засоленных почв и факторами, его обуславливающими, проводились весной 1963 г. автором в составе Кулундинской экспедиции Сибирского отделения АН СССР и были продолжены в 1967, 1968 и 1969 гг. в составе Алтайской комплексной экспедиции Московского государственного университета (под руководством доктора геогр. наук А. М. Шульгина).

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 колебались от 44,5 до 66,2 мм на солончаках и от 32,3

Основные характеристики склонового весеннего стока с целины засоленных почв Кулундинской степи и влияющих на него факторов (с. Зеленая Поляна Ключевского района Алтайского края)

Номер стоковых площадок	Почва	Продольный уклон площадок	Максимальные запасы воды в снеге и в ледяной корке	Количество осадков после снеговой съемки (мм)	Суммарные запасы воды (мм)	Запасы влаги в полуметровом слое почвы (мм)		Дата прохождения половодья		Слой стока за половодье (мм)	Коэффициент стока	Максимальный расход (л/с)	Дата прохождения максимального расхода
						до снеготаяния	после снеготаяния	начала	конца				
1963 г. ²													
1	Солончак	0,017	17,3/22,1	5,1	44,5	77,5	125,8	18 III	27 III	18,4	0,41	1,3	26 III
2 (1а)	"	0,013	45,1/16,0	5,1	66,2	77,5	125,8	18 III	30 III	46,0	0,70	2,5	26 III
3	Солонец	0,008	9,2/18,0	5,1	32,3	—	—	18 III	27 III	5,5	0,17	0,4	26 III
4 (2а)	"	0,006	25,4/31,0	5,1	61,5	—	—	18 III	19 III	1,9	0,03	0,06	18 III
1967 г.													
1	Солончак	0,017	33,4/18,0	7,3	58,7	68,5	91,0	22 III	2 IV	36,1	0,53	2,12	28 III
2	"	0,013	39,6/15,0	7,3	61,9	68,5	91,0	22 III	3 IV	42,0	0,68	2,66	28 III
3	Солонец	0,008	41,3/17,0	7,3	65,6	44,3	96,9	22 III	31 III	10,2	0,15	0,72	27 III
4	"	0,006	37,8/16,0	7,3	61,1	44,3	96,9	22 III	30 III	4,4	0,07	0,35	27 III
1968 г.													
1	Солончак	0,017	27,2	4,6	31,8	46,4	60,9	12 III	23 III	16,4	0,52	1,21	15 III
2	"	0,013	23,4	4,6	28,0	46,4	60,9	13 III	22 III	20,1	0,72	1,37	15 III
3	Солонец	0,008	25,4	4,6	30,0	21,5	67,1	12 III	16 III	2,3	0,08	0,19	14 III
4	"	0,006	20,8	4,6	25,4	21,5	67,1	12 III	16 III	1,4	0,06	0,09	14 III
1969 г.													
1	Солончак	0,017	102,4/5,0	6,2	113,6	29,6	100,7	5 IV	20 IV	64,5	0,57	5,24	18 IV
2	"	0,013	98,3/6,0	6,2	110,5	29,6	100,7	5 IV	19 IV	63,8	0,58	5,02	17 IV
3	Солонец	0,008	107,1/6,0	6,2	119,3	11,5	134,3	5 IV	21 IV	14,5	0,12	1,12	18 IV
4	"	0,006	100,5/5,5	6,2	112,2	11,5	134,3	5 IV	20 IV	6,8	0,06	0,64	18 IV

¹ В числителе — запасы воды в снеге, в знаменателе — в ледяной корке.² Обработку полевых материалов за 1963 г. выполнила М. И. Баюшева [19].

Столь низкие величины стока можно объяснить исключительно водно-физическими свойствами глубокостолбчатых солонцов. При таких условиях нельзя ожидать существенного повышения стока со среднестолбчатых и глубокостолбчатых солонцов даже после многоснежной зимы и влажной предшествующей осени. Так, например, весной 1969 г. при исключительно многоснежной зиме (высота снежного покрова более 100 мм) поверхностный сток на солонцах составил 14,5 и 6,8 мм при коэффициентах стока 0,12 и 0,06, а на солончаках — 64,5 и 63,8 мм при коэффициентах стока 0,57 и 0,58 (см. табл. 30).

В результате обобщения четырехлетнего экспериментального материала установлено, что насыщение влагой полуметрового слоя почвы происходит не только за счет просачивания снеговых вод, но и за счет вертикальной миграции влаги, о чем говорилось раньше [143].

Для анализа стока с засоленных почв рассмотрим материалы Алтайской экспедиции МГУ по механическому составу и водно-физическим свойствам засоленных почв опытного участка. Глубокостолбчатым солонцам свойственна дифференцированность профиля по механическому составу. Верхний надстолбчатый горизонт обеднен илистыми частицами. В нем преобладает крупнопылеватая, а также песчаная фракция.

Содовые солончаки по механическому составу тяжелосуглинистые. Характерной особенностью их механического состава является малое содержание песка и высокое — пыли, что указывает на повышенную капиллярность и слабую водопроницаемость. Изменение водно-физических свойств солонцов по горизонтам также подчеркивает дифференциацию строения их профиля. Это особенно четко показывает объемный вес. Для верхнего надстолбчатого горизонта солонцов характерен небольшой объемный вес (0,92—0,99). В связи с высокой порозностью (59,6—60,8%) гумусовый горизонт глубокостолбчатых солонцов обладает хорошей влагоемкостью и сравнительно небольшой влажностью завядания. Это обуславливает достаточно широкий диапазон активной влаги и ее высокую подвижность в гумусовом горизонте.

Для содовых солончаков характерна высокая уплотненность верхних горизонтов. С глубиной объемный вес увеличивается, а общая порозность и влагоемкость уменьшаются. Весьма характерны для содовых солончаков большие величины максимальной гигроскопичности и влажности завядания, обусловленные 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; это и определяет большие величины слоя склонового стока.

3.6. Подземные воды

Гидрогеология района довольно подробно описана многими авторами [22, 23, 47]. Поэтому ограничимся выяснением естественных ресурсов (динамических запасов) первого от поверхности водонос-

ного горизонта Центральной Кулунды и наметим некоторые пути их использования для орошения.

Для ориентировочных расчетов естественных ресурсов грунтовых и подземных вод в степной зоне П. Я. Полубаринова-Кочина [178] исходит из того, что на обширной площади, подлежащей орошению подземными водами, большое количество скважин размещается более или менее равномерно. Область считается бессточной. Имеется в виду, что каждая скважина имеет свою зону влияния и отсасывает воду из окружающего ее цилиндра. В случае если зона действия скважины сравнительно велика, то неправильный в плане контур, ограничивающий соответствующую площадь σ , можно заменить окружностью и, таким образом, рассматривать движение в круговом цилиндре, т. е. вода откачивается как бы из бочки. Пусть радиус этого цилиндра будет R , тогда его площадь $\sigma = \pi R^2$. Полубаринова-Кочина рассматривает случай, когда откачка производится из верхнего безнапорного водоносного горизонта. Если дебит скважины обозначить через Q_0 , то удельный дебит будет равен

$$q_1 = \frac{Q_0}{\sigma} = \frac{Q_0}{\pi R^2}, \quad (11)$$

где q_1 , собственно, является интенсивностью орошения подземными водами и выражена либо в мм слоя воды, либо в m^3 га.

Согласно Н. С. Петину [175] и С. И. Харченко [241] почти $2/3$ (65—70%) оросительной воды расходуется на суммарное испарение (эвапотранспирацию), а $1/3$ идет на пополнение грунтового потока.

В общем случае будем считать, что суммарное испарение составляет αq_1 мм, где $0 < \alpha < 1$. Тогда уровень грунтовых вод в зоне аэрации снизится на величину αq_1 , а за промежуток времени t понижение уровня (Δh_1) будет равно

$$\Delta h_1 = \frac{\alpha q_1}{m} t, \quad (12)$$

где m — эффективная пористость грунта, или недостаток насыщения.

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

Отсюда

$$\Delta h_1 = \frac{\alpha q_1 - \varepsilon}{m} t. \quad (13)$$

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

$$q_1 = \frac{\varepsilon}{\alpha}, \quad (14)$$

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 на полив давать воду, откачиваемую из скважины с интенсивностью, равной полуторной интенсивности естественной инфиль-

трации, уровень грунтовых вод будет оставаться в среднем практически неизменным.

Центральные районы Кулундинской степи относятся к бессточным областям, для которых оценка динамических запасов подземных вод представляет большие трудности. Однако по методике Ленгипроводхоза, можно произвести ориентировочные расчеты величины естественного пополнения запасов грунтовых вод этой территории, учитывая испарение с их поверхности [109, 258].

Приближенно величину испарения с поверхности грунтовых вод можно определить с помощью формул С. Ф. Аверьянова, Д. М. Каца, С. И. Харченко. По Аверьянову [3],

$$q_1 = q_0 \left(1 - \frac{\Delta}{\Delta_0} \right)^n, \quad (15)$$

где q_1 — интенсивность испарения грунтовых вод при глубине их стояния Δ (м); q_0 — интенсивность испарения с поверхности почвы при очень высоком стоянии грунтовых вод (приближенно может быть принята равной испарению с водной поверхности); Δ_0 — критическая глубина стояния грунтовых вод (м); n — показатель, зависящий от местных условий, причем $1 \leq n \leq 3$.

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

$$q_1 = \frac{1}{F} \sum f_i q_{0i} \left(1 - \frac{\Delta_i}{\Delta_{0i}} \right)^{n_i}, \quad (16)$$

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 [112]. Все значения Δ_i принимаем равными 2 м, чаще всего встречающимися в отмеченных областях. Тогда формула (16) примет вид:

$$q_1 = \frac{1}{F} \left(1 - \frac{\Delta_i}{\Delta_{0i}} \right)^2 \sum f_i q_{0i} = \frac{1}{9F} \sum f_i q_{0i}. \quad (17)$$

Грунтовые воды на территории Центральной Кулунды приурочены главным образом к водоносному комплексу Кулундинской свиты, площадь распространения которого выходит за пределы Центральной Кулунды на юг и запад. Нами проведены расчеты испарения этого водоносного комплекса только в пределах центральной части Кулундинской степи, куда вошли полностью Славгородский, Знаменский, Суевский, Благовещенский, Родинский, Волчихинский и Михайловский районы Алтайского края, а также восточная часть правобережья Иртыша в Павлодарской области Казахской ССР (табл. 31). Общая площадь выделенной террито-

рии составляет около 24 тыс. км², 30% которой занимают испаряющие участки. По данным Степной экспедиции Западно-Сибирского геологического управления, средняя глубина залегания грунтовых вод составляет на этой территории около 2 м; величина испарения с водной поверхности, согласно данным В. С. Мезенцева [135], может быть принята равной 700—750 мм.

Таблица 31

Естественные ресурсы подземных вод в Центральной Кулунде

Административный район	Площадь рассматриваемой части района (тыс. км ²)	Площадь испаряемых участков		Испарение с водной поверхности (мм)	Испарение с урона грунтовых вод (мм)	Естественные ресурсы подземных вод (мм)	Ресурсы подземных вод (млн. м ³)
		(тыс. км ²)	%				
Благовещенский	1,21	0,84	69	750	83	57	67,0
Бурлинский	1,22	0,36	30	700	77	23	28,0
Знаменский	1,15	0,30	26	700	77	20	23,0
Ключевской	2,73	1,04	38	750	83	32	87,0
Кулундинский	2,00	0,37	19	750	83	16	32,0
Михайловский	0,94	0,38	40	750	83	33	31,0
Родинский	2,57	0,34	13	700	77	10	25,0
Славгородский	2,10	0,16	8	750	83	7	14,0
Суетский	0,74	0,46	62	700	77	48	35,0
Табунский	1,60	0,05	3	700	77	2	3,0
Волчихинский	2,64	1,00	38	700	77	29	76,0
Правобережье Иртыша (Павлодарская область КазССР)	5,09	1,99	39	750	83	31	155,0
Всего	23,99	7,29				Среднее 24,3	576,0

По нашим расчетам [109], средняя величина испарения равна 24,3 мм. Можно принять, что динамические запасы грунтовых вод нижнечетвертичного водоносного горизонта в Центральной Кулунде составляют около 24 мм, или 576 млн. м³ на площади 24 тыс. км² (табл. 31).

При средней оросительной норме 2000 м³/га получаем, что запасы грунтовых вод 576 млн. м³ дают возможность оросить 288 000 га в год, а при оросительной норме 3000 м³/га — 192 тыс. га. Приблизительно можно считать площадь 150 тыс. га как возможную площадь для 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 величину, вероятно, следует снизить до 100 тыс. га.

При оросительной норме 2500 м³/га можно оросить около 10% расчетной площади. При этом орошение должно быть рассредото-

ченным, чтобы не вызывать сильного снижения уровня грунтовых вод.

Расширение площадей, орошаемых подземными водами, возможно при условии искусственного пополнения их поверхностными водами (магазинирование вод в подземных пластах, по Н. Н. Фаворину [232]).

В перспективе намечается орошение Кулундинской степи водами Оби. В этом случае откачка подземных вод трубчатыми колодцами будет играть роль регулятора уровня грунтовых вод с целью предотвращения вторичного засоления.

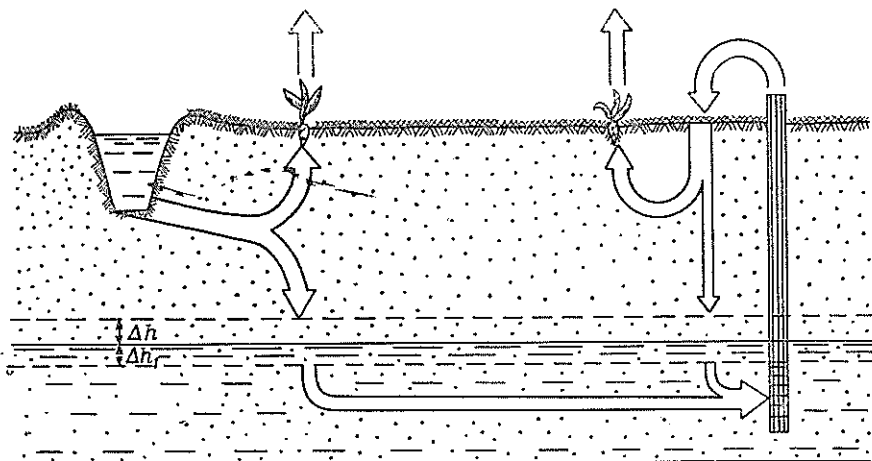


Рис. 9. Схема комбинированного использования поверхностных и подземных вод для орошения (по П. Я. Полубариновой-Кочинной).

К настоящему времени выявилась необходимость на больших территориях орошения применять 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. Хари Лал Салли [286, 287] подсчитал, что для условий Пенджаба на каждые 100 м³ воды, подаваемой в голову канала, нужно давать 65 м³ воды из трубчатых колодцев. П. Я. Полубаринова-Кочина считает, что из каждых q метров столба воды (рис. 9), 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 величину Δh , причем через промежуток времени t будем иметь

$$\Delta h = \frac{\beta q}{m} t, \quad (18)$$

где m — приближенно можно принять таким же, что и при понижении уровня грунтовых вод (см. формулу 12). Тогда для соблю-

дения условия $\Delta h_1 = \Delta h$ следует приравнять

$$\alpha q_1 = \beta q, \quad (19)$$

отсюда

$$q_1 = \frac{\beta}{\alpha} q, \quad (20)$$

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 (20) получаем

$$q_1 = \frac{2}{3} q = 0,667 q.$$

Следовательно, на каждые 100 м³ речной воды нужно подавать 67 м³ подземной. Величина 65 м³ получилась у Лал Салли в результате введения некоторых специфических для Индии поправок.

Формула (20) показывает, что чем меньше потери, т. е. чем меньше величины β и $1 - \alpha$, тем меньше q_1 по сравнению с q .

Так, если $\beta = 1/3$, $\alpha = 2/3$, то $q_1 = 0,5 q$ (при этом в обоих способах получения воды потери считаем одинаковыми), на 100 м³ речной воды нужно 50 м³ подземной.

Если $\beta = 1/3$, $\alpha = 5/6$, то $q_1 = 0,4 q$, т. е. 40 м³ на 100 м³ и т. д. 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 и подпочвенного орошения.

Выводы

1. Водные ресурсы основных рек Кулундинской степи составляют в среднемноговодный, средний и маловодный годы, соответственно 941, 248 и 98 млн. м³. Ресурсы местных поверхностных вод, которые в значительном количестве остаются на водосборах, не достигая речных русел, могут быть определены в зависимости от размера принятой расчетной площади. Если, например, ориентироваться на створы с площадью водосбора 50 км², то величина ресурсов составит 1461 млн. м³ в средний по водности год.

2. В Кулунде в средний по водности год можно использовать суммарный сток (речной и местный временных водотоков), от 0,8 до 1,0 млрд. м³, на лиманное и регулярное орошение путем сооружения искусственных водоемов и прудов на временных водотоках и мелких речках (остальная часть стока может быть использована

для бытовых нужд населения, рыборазведения и полевого водоснабжения).

3. В годы с малыми запасами воды на поверхности почвы и большими потерями стока наблюдаются сравнительно малые величины и коэффициенты склонового и руслового стока. В годы же с большими запасами воды на поверхности почвы и значительными потерями стока наблюдаются резкие различия в величинах слоя и в коэффициентах склонового и руслового стока. При этом, несмотря на различие в типах весен, во всех случаях величина склонового стока 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 травами. Средняя площадь, распаханная на зябь (в процентах от площади водосбора) — важный показатель, определяющий величину и коэффициент склонового стока.

4. На содовых солончаках, характеризующихся крайне слабой водопроницаемостью верхнего горизонта, величина весеннего склонового стока определяется максимальными снегозапасами. На средне- и глубокостолбчатых солонцах, имеющих высокую водопоглощающую способность и естественную дренированность, величина склонового стока как в многоснежные, так и в малоснежные годы незначительна.

5. Естественные ресурсы (динамические запасы) подземных вод в Центральной Кулунде (на площади 24 тыс. км²) составляют около 0,6 млрд. м³, что дает возможность в перспективе рассчитывать на орошение подземными водами площади около 100 тыс. га при рассредоточенном размещении орошаемых участков. Расширение площадей, орошаемых подземными водами, возможно при условии искусственного пополнения последних поверхностными водами, т. е. путем создания подземных водохранилищ.

6. В Центральной Кулунде желательно применять комбинированные способы подачи воды на орошаемые поля, используя для этого как поверхностные, так и подземные воды. Здесь откачка подземных вод будет играть роль регулятора уровня грунтовых вод с целью предотвращения вторичного засоления на орошаемых массивах.

ГЛАВА 4 ГИДРОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ЛИМАННОГО ОРОШЕНИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ ЕГО РАЗВИТИЯ

При проектировании лиманного орошения в степной зоне основными исходными данными являются данные о снегозапасах по элементам рельефа малых водосборов, величины весеннего стока и оросительных норм. В настоящей главе рассматривается баланс поверхностного стока для основных элементов малого водосбора в связи с особенностями распределения снежного покрова, а также приводятся расчеты и рекомендации по использованию стока для лиманного орошения. При этом 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.

В Кулундинской степи сток снеговых вод происходит по мерзлой почве и впитывание этих вод в лиманах происходит также в мерзлую почву, в связи с чем вопросу поглощения весенних вод в мерзлые почво-грунты также уделено внимание.

В качестве объекта исследований был взят земельный массив Первомайского совхоза (п. Зеленый Луг Родинского района Алтайского края)¹. Основные земли совхоза (рис. 10) находятся в конусе выноса балки. Долина балки (бассейн р. Кучук) в виде явно выраженного вреза идет из южных повышенных участков территории, с окраины Приобского плато.

4.1. Распределение снежного покрова на малом водосборе (на Приобском плато)

Исследования формирования снежного покрова на Приобском плато производились в 1954—1957 гг. в Родинском, Панкрушихинском и Бурлинском районах Алтайского края и в Баганском районе Новосибирской области. Основное внимание обращалось на характер залегания снега на водораздельных и приводораздельных частях склонов, а также в руслах балок, лощин и логов различной ориентации.

Условия формирования снежного покрова. Формирование снежного покрова на Приобском плато определяется двумя условиями: ограниченным количеством твердых атмосферных осадков и

¹ Полевые опытные исследования по лиманному орошению проводились также в колхозе «Искра» Баганского района Новосибирской области.

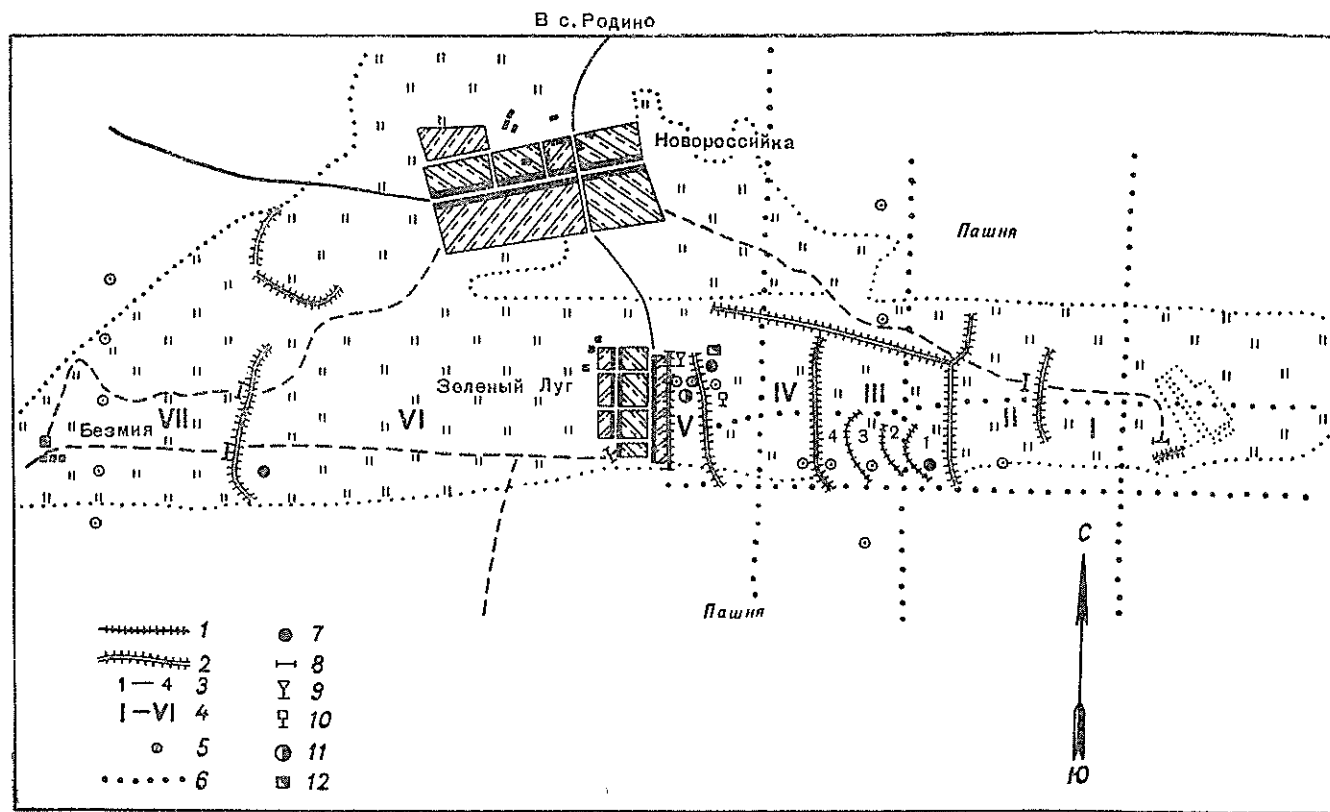


Рис. 10. План опытного участка лиманного орошения в Кулундинской степи (Приобское плато).

1 — земляные валы мелководных лиманов, 2 — дамбы глубоководных лиманов, 3 — номера ярусов (секций) мелководных лиманов, 4 — номера ярусов глубоководных лиманов, 5 — наблюдательные скважины, 6 — маршруты снегомерных съемок, 7 — пункты отбора проб почво-грунтов на влажность в зоне аэрации, 8 — гидростворы, 9 — осадкомер Третьякова, 10 — самописец дождя, 11 — почвенно-испарительная площадка, 12 — лизиметры.

наличием в зимний период сильных ветров, которые сдувают снег в балки, лога, овраги, а также в микро- и мезопонижения. В результате этого на открытых участках, особенно на участках, лишенных растительности, снежный покров неустойчив и распределяется по элементам рельефа весьма неравномерно.

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 скоростях ветра 10 м/с и особенно 15 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.

Сильные ветры широтного направления обуславливают значительное количество метелей, которые резко влияют на распределение снежного покрова, и в результате происходит неравномерное снегоотложение. Большая часть дней с метелями на Приобском плато приходится на начало зимнего периода (ноябрь—декабрь), поэтому снегонакопление и снегоотложение происходит в основном также в этот период.

Влияние микро- и мезорельефа на формирование снежного покрова. 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. Ввиду совпадения направления широтных балок с господствующим в зимний период направлением ветра в самих балках образуется менее высокий снежный покров, чем на приводораздельных частях склонов.

Для изучения характера залегания и особенностей формирования снежного покрова на балке Зеленый Луг ежегодно в марте (в период максимального снегонакопления) проводилась снегомерная съемка по профилям длиной 1500—1700 м от водораздела до водораздела (балка широтной ориентации).

Наименьшая высота снежного покрова наблюдалась в нижней части балки, наибольшая же высота снега и запас воды в нем — на приводораздельной части склона балки. Выяснилось, что в нижней части балки запас воды в снеге в многоснежную зиму 1953-54 гг. составлял в среднем 74,5 мм, тогда как на приводораздельной части склона среднее ее значение было 111,5 мм.

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 [144].

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 Северной и Центральной Кулунды зима 1955-56 г. по снегозапасам была близкой к норме. Наконец зима 1956-57 г. была также многоснежной (95—100 мм).

Проводившиеся в 1954—1955 гг. снегомерные съемки в бассейне р. Кучук (Родинский район Алтайского края) дают возможность выяснить общую картину распределения снежного покрова по поверхности малых водосборов (табл. 32). Данные снегомерных съемок за зимы 1955-56 и 1956-57 гг. на малых водосборах в Центральной и Северной Кулунде приведены в табл. 33.

Таблица 32

Распределение снега на водосборе бассейна р. Кучук зимой 1953—1957 гг.
(Приобское плато)

Водосбор	Дата снегосъемки	Средняя высота снежного покрова		Число измерений высоты снежного покрова
		см	% средней высоты на водосборе	
Зима 1953-54 г.				
Поперечный профиль через водосбор балки Зеленый Луг	3—5 IV	37	100	3
Приводораздельная часть балки	3—5 IV	27	73	3
Склоны долины	3 IV	45	122	3
Новороссийский лог меридиональной ориентации	6 IV	172	465	3
Русло р. Кучук (створ в с. Степной Кучук)	8 IV	112	302	3
Зима 1954-55 г.				
Бассейн Родинского озера . .	20 III	25	90	3
Поперечный профиль через водосбор балки Зеленый Луг	23 III	28	100	2
Новороссийский лог меридиональной ориентации	23 III	112	397	5
Русло р. Кучук	25 III	57	238	3
Зима 1955-56 г.				
Бассейн Родинского озера . .	25 III	17	95	3
Разрез через балку Зеленый Луг	27 III	18	100	4
Новороссийский лог	27 III	65	278	3
Русло р. Кучук	27 III	32	178	3
Зима 1956-57 г.				
Бассейн Родинского озера . .	18 III	27	80	3
Разрез через балку Зеленый Луг	20 III	34	100	2
Новороссийский лог	21 III	156	458	5
Русло р. Кучук	23 III	101	295	3

**Распределение снега на малых водосборах в бассейнах р. Бурлы
(Центральная Кулунда) и р. Баган (Северная Кулунда) зимой 1955-56 г.**

Водосбор	Дата снегосъемки	Высота снежного покрова		Число измерений снежного покрова
		см	% средней высоты на водосборе	
Бассейн р. Бурлы и Бурлинского озера				
Бурлинский лог	27 III	59	245	6
Вишневский лог	25 III	71	296	5
Десятый лог (меридиональ- ной ориентации)	24 III	62	258	7
Поперечный профиль через долину р. Паньшихи	29 III	24	100	2
Склон северо-восточной экспо- зиции (прирусловой участок)	31 III	49	204	3
Склон восточной экспозиции (прирусловой участок) . . .	31 III	32	133	4
Бассейн р. Баган				
Бассейн Саломаткиной ляги	21 III	21	100	3
Склоны (мелководные лиман- ны)	22 III	28	133	5
Приводораздельная часть склона (водосбор лиманов)	23 III	17	81	4
Бассейн оз. Ремовое	19 III	23	109	2
Бассейн оз. Горькое	26 III	21	100	4
Мохнатая ляга	28 III	22	104	—

На основании материалов распределение снежного покрова по поверхности малых водосборов в различные годы представляется в следующем виде. В многоснежные зимы, например в 1953-54 г., распределение снежного покрова на водосборе крайне неравномерно. Более равномерно снеготзапасы распределены на приводораздельной части 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 по сравнению с другими частями водосбора. Высота снежного покрова здесь составляла 65—80% средней на водосборе, причем она увеличивалась в направлении от вершины к его подошве. Высота снежного покрова в нижних частях склонов достигала 45—50 см (122—130% средней на водосборе).

Гидрографическая сеть временных водотоков отличалась наиболее сложным распределением снежного покрова. Мелкие звенья гидрографической сети (узкие балки, лога меридиональной ориента-

ции) 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 в 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 Кулундинской степи в зимне-весенний период 1956 г. и сравнения с условиями предыдущих лет выяснилось, что качественные и сравнительные показатели одного года характерны и для других лет. Разница здесь только в количестве выпавших твердых атмосферных осадков. Соотношения же снежного покрова на различных формах рельефа по существу одинаковы.

Наличие растительного покрова на малых водосборах (стерня, сухой травостой на целинных землях) способствует повышению снегозапасов по сравнению с зябью (табл. 34). Запасы воды в снеге на целине и на стерне заметно больше, чем на зяби. Это объясняется большей шероховатостью поверхности, покрытой растительностью и стерней, и более благоприятными в связи с этим условиями снегонакопления по сравнению с зябью (в Центральной Кулунде снег обычно полностью сдувается с пахотных угодий в микро- и мезопонижения).

Приближенный расчет снегозапасов по основным элементам рельефа малых водосборов. Наблюдения за снегораспределением на разных морфологических участках водосборов, проводившиеся нами в течение четырех лет, дали возможность количественно оценить снегозапасы на основных элементах малого водосбора (приводораздельная часть, склон, гидрографическая сеть временных водотоков). Полученные величины имеют определенный интерес для изучения формирования поверхностного стока как источника для лиманного орошения. Расчет был проведен по методике Н. В. Разумихина [185]. 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 распашке площади водосбора большее значение имеет русловой сток. Таким образом, ввиду некоторой схематизации основных элементов водосбора и недостаточного числа лет наблюдений расчетные величины имеют приближенный характер.

Таблица 34

Результаты ландшафтных снегоъемок в зимний период 1956-57 г.
(бассейн р. Кучук, Приобское плато)

Дата снегоъемки	Характеристика маршрутов	Высота снега (см)	Плотность снега (г/см³)	Запас воды (мм)	Количество точек измерения	
					высоты снега	плотности снега
1 XII 1956	Целина (выгон)	6	0,18	11	200	41
15 XII	"	6	0,22	14	200	41
4 I 1957	"	7	0,23	15	200	41
16 I	"	11	0,25	27	200	41
3 II	"	16	0,30	47	200	41
18 II	"	18	0,28	49	200	41
1 III	"	22	0,29	63	200	41
3 XII 1956	Стерня пшеницы	10	0,14	14	200	40
16 XII	"	10	0,14	14	200	41
5 I 1957	"	22	0,21	46	200	41
17 I	"	24	0,20	48	200	41
7 II	"	31	0,26	81	200	40
19 II	"	32	0,26	84	200	40
5 III	"	37	0,24	89	200	40
3 XII 1956	Пахота (зябрь)	8	0,20	15	200	36
17 XII	"	7	0,22	15	200	36
5 I 1957	"	11	0,20	22	200	40
17 I	"	12	0,21	24	200	39
7 II	"	17	0,30	50	200	40
19 II	"	19	0,26	50	200	40
5 III	"	23	0,27	63	200	40
4 XII 1956	Приводораздельная часть склона (целина)	8	0,16	13	400	26
18 XII	То же	8	0,22	18	400	30
4 I 1957	"	21	0,26	54	400	29
18 I	"	28	0,22	62	400	28
8 II	"	28	0,30	85	400	28
20 II	"	31	0,30	93	400	23
7 III	"	39	0,27	106	400	26
21 III	"	39	0,33	129	400	27
5 XII 1956	Лесополоса	16	0,16	25	400	30
19 XII	"	13	0,20	26	400	29
6 I 1957	"	30	0,20	60	400	30
19 I	"	35	0,21	74	400	30
9 II	"	40	0,24	96	400	31
21 II	"	52	0,22	114	400	27
8 III	"	58	0,26	150	400	28

Для производства необходимых расчетов, кроме данных наблюдений за снегораспределением на различных участках водосбора, необходимы также данные о площади, занятой вершинами склонов, средней и приводораздельной частями склонов, а также гидрографической сетью временных водотоков. При наличии этих характеристик можно произвести расчет снегозапасов 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 приводораздельной частями склонов, можно получить с точностью, достаточной для приближенных расчетов, на основании гипсометрической карты Приобского плато масштабом 1:100 000. Согласно этой карте, вершины склонов (водоразделы) бассейна р. Кучук занимают около 25% всей площади водосбора. Остальная часть площади водосбора (около 75%) приходится на долю средней и приводораздельной частей склонов и гидрографической сети.

Большие трудности вызывают вычисления площади, занятой гидрографической сетью. Было бы более целесообразно оценить площади речной и лощинно-балочной сети отдельно, так как распределение снега на них различно. К сожалению, достаточно надежных способов оценки площади, занимаемой гидрографической сетью, пока не существует, в силу чего она разными исследователями оценивается по-разному. Так, например, А. С. Козменко и А. Д. Ивановский [94] считают, что площадь гидрографической сети на Европейской территории 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 1 км² водосбора), занимаемую гидрографической сетью, можно вычислить по формуле

$$S_r = 100 \gamma_{г. ср} B_{ср}, \quad (21)$$

где $\gamma_{г. ср}$ — средняя густота гидрографической сети (км/км²); $B_{ср}$ — 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 $\gamma_{г. ср} \approx 0,15$ км/км². Здесь не учитывается лощинно-балочная сеть, площадь которой несколько выше, чем речной сети Приобского плато. Протяженность лощинно-балочной сети можно оценить только косвенным путем. Так, согласно данным А. В. Огиевского, гидрографическая сеть временных водотоков (лога, балки, лощины) составляет около 95% протяженности всей гидрографической сети. А. С. Козменко считает, что для Среднерусской возвышенности протяженность речной сети равна примерно 10—15% общей протяженности

гидрографической сети, а на долю ложинно-балочной сети приходится 85—90 %.

При рекогносцировочных обследованиях гидрографической сети, проведенных на Приобском плато (бассейн р. Кучук) осенью 1955 и 1956 гг., установлено, что соотношение протяженности речной сети к ложинно-балочной составляет 1:6 (табл. 35). В то же время непосредственные измерения гидрографической сети позволяют сделать некоторые выводы о ширине отдельных ее звеньев. Ширина гидрографической сети на территории Приобского плато (бассейн р. Кучук и р. Бурлы) колеблется в пределах 60—70 м для речной сети и 15—30 м для ложинно-балочной. (За ширину русла принимается ширина дна и двух берегов, но не всегда у ложины можно четко разграничить дно и берега, так как переход дна в берег очень плавный и не имеет уступа.)

Таблица 35

Протяженность элементов гидрографической сети
в верховьях р. Кучук (Приобское плато)

Элемент гидрографической сети	Протяженность	
	км	% от 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

Учитывая, что речная сеть составляет около 15 % общей протяженности гидрографической сети бассейна, средневзвешенное значение ширины гидрографической сети может быть вычислено по формуле

$$B_{\text{ср}} = \frac{P_{\text{р}} B_{\text{р}} + P_{\text{л.-б}} B_{\text{л.-б}}}{100}, \quad (22)$$

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

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

$$S_{\text{г}} = 100 \gamma_{\text{р}} K_{\text{л.-б}} B_{\text{ср}}, \quad (23)$$

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 $\gamma_p = 0,15 \text{ км/км}^2$,

Таблица 36

Распределение площади водосбора по основным
элементам рельефа Приобского плато

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

Таблица 37

Распределение снегов запасов по основным элементам мезорельефа
для различных типов зим (бассейн р. Кучук, Приобское плато)

Тип зимы	Запас воды в снеге (мм)	Элемент рельефа и гидрографическая сеть	Занимаемая площадь водосбора (%)	Высота снежного покрова (% от средней для водосбора)	Снегов запасы	
					% от суммарной величины на водосборе	мм слой воды
Многоснежная, 1953-54 г.	100	Приводораздельная часть	25	73	18,0	18,0
		Склоны	71	122	65,0	65,0
		Речная сеть	1	302	3,0	3,0
		Лощинно-балочная сеть	3	465	14,0	14,0
Средняя, 1954-55 г.	80	Приводораздельная часть	25	90	23,0	18,4
		Склоны	71	110	63,0	50,5
		Речная сеть	1	238	2,0	1,6
		Лощинно-балочная сеть	3	397	12,0	9,5
Малоснежная, 1955-56 г.	35	Приводораздельная часть	25	95	24,0	8,4
		Склоны	71	100	66,0	23,2
		Речная сеть	1	178	2,0	0,7
		Лощинно-балочная сеть	3	278	8,0	2,7
Многоснежная, 1956-57 г.	95	Приводораздельная часть	25	78	19,5	18,5
		Склоны	71	127	64,5	62,0
		Речная сеть	1	295	3,0	2,5
		Лощинно-балочная сеть	3	458	13,0	12,0

$K_{л.-б}=8,5$, $B_{ср}=0,03$ км и $S_r=4\%$. Таким образом, площадь, занимаемая гидрографической сетью в верховьях бассейна р. Кучук (Приобское 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 лишь 15% суммарной протяженности водосбора, нетрудно вычислить площадь, занимаемую раздельно речной и ложинно-балочной сетью.

На основании приведенных данных, речная сеть должна занимать 30% всей площади гидрографической сети, или 1,2% всей площади водосбора. Следовательно, на долю ложинно-балочной сети приходится около 3% площади водосбора (табл. 36).

С помощью данных табл. 36, а также табл. 32 и 33 можно рассчитать снегозапасы на основных элементах мезорельефа (табл. 37).

Из данных табл. 37 видно, что основная масса снежного покрова залегает на средних и нижних частях склонов. Вода, содержащаяся в снежном покрове водоразделов и 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.

4.2. Водный баланс территории для основных элементов водосбора

Особенности распределения снежного покрова по морфологическим элементам малых водосборов имеют большое значение для выяснения механизма формирования поверхностного стока. Если на приводораздельных частях склонов (вершинах) режим поверхностного стока носит замедленный характер, вследствие чего преобладающая часть снегозапасов является потерей весеннего стока, 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 наиболее целесообразно составить баланс поверхностного стока по отдельным морфологическим элементам водосбора.

Рассмотрим прежде всего распределение потерь стока на поверхности водосбора. Как указывалось, вследствие своеобразного морфологического строения Кулундинской степи и значительной распахки земель (особенно в последние годы) в связи с освоением целины приводораздельные части склонов являются областью резко выраженного преобладания потерь поверхностного стока.

Непосредственные наблюдения за поверхностным стоком с малых водосборов, проводившиеся в течение 1954—1957 гг., показали, что с распаханных площадей поверхностный сток незначительный. 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 малых водосборов относительно высокие. На средних и приводораздельных частях склонов величины коэффициентов стока могут быть различными и установить приближенное значение этих коэффициентов для всей рассматриваемой территории трудно.

Исходя из рассмотренного режима поверхностного стока на вершинах склонов и учитывая, что коэффициент стока должен несколько увеличиться с увеличением снегозапасов, для приближенных расчетов допускаем, что коэффициент стока с приводораздельных частей водосбора после многоснежной зимы составляет примерно 0,15 и колеблется от 0,10 до 0,05 для других типов зим.

Полагая на основании данных табл. 24, что коэффициент стока малых водосборов в Кулундинской степи (Приобское 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 приводораздельных частей склонов.

Зная коэффициенты стока с отдельных элементов рельефа и снегозапасы на них (см. табл. 37), можно составить общий баланс поверхностного стока для малого водосбора в целом. Такой приближенный баланс представлен в табл. 38. Как видно из таблицы, основная часть поверхностного стока с малых водосборов (62—

Таблица 38

Баланс поверхностного стока на основных элементах малого водосбора
(бассейн р. Кучук, Приобское плато)

Тип зимы	Запас воды в снеге (мм)	Элемент малого водосбора	Площадь (% от общей площади водосбора)	Снегозапасы (мм)	Коэффициент стока	Поверхностный сток		Потери	
						мм	% от суммарного	мм	% от суммарного
Многоснежная	100	Приводораздельная часть	25	18,0	0,20	3,6	5,1	14,4	48,0
		Склоны	71	65,0	0,80	52,0	74,0	13,0	41,0
		Гидрографическая сеть	4	17,0	0,73	12,4	20,9	4,6	11,0
Средняя	80	Приводораздельная часть	25	18,4	0,10	1,9	4,0	16,5	49,0
		Склоны	71	50,5	0,70	35,4	74,5	15,1	45,0
		Гидрографическая сеть	4	11,1	0,67	7,4	21,5	3,7	6,0
Малоснежная	35	Приводораздельная часть	25	8,4	0,05	0,5	2,7	7,9	39,0
		Склоны	71	23,2	0,50	11,6	61,5	11,6	58,0
		Гидрографическая сеть	4	3,4	0,54	1,8	35,8	1,6	3,0

75% суммарного) формируется за счет вод, стекающих со средней и нижней частей склонов. Значительно меньше (20—35%) приходится на долю руслового стока. Наконец сток с вершины склонов не играет заметной роли в общем балансе поверхностного стока, причем в маловодные годы он может практически отсутствовать.

Распределение потерь стока на речном водосборе в общем представляется в ином свете. В многоводные и близкие по условиям к средним многолетним годы значительная часть потерь стока приходится за счет вод, стекающих с вершин склонов (около 50%), причем доля потерь стока со средних и приводораздельных частей склонов в этих условиях весьма большая (41—45%). В маловодные же годы основная часть потерь стока приходится на долю средних и приводораздельных частей склонов (58%), несколько меньше (39%) — с приводораздельной части водосбора. Потери стока в гидрографической сети сравнительно небольшие (3%).

4.3. Испарение со снежного покрова

В Кулундинской степи испарение со снежного покрова в весенний период незначительно и составляет приблизительно 3—5 мм за весь период интенсивного снеготаяния (табл. 39). С поверхности снежного покрова весной при адвективном типе погоды испарение близко к нулю, так как в большинстве случаев конденсация преобладает над испарением [149]. При соллярном типе погоды в начале снеготаяния преобладает испарение, а в конце — конденсация.

При общем незначительном испарении с поверхности снега все же наблюдаются резкие колебания этой величины во времени (рис. 11). Эти колебания обусловлены совместным влиянием темпе-

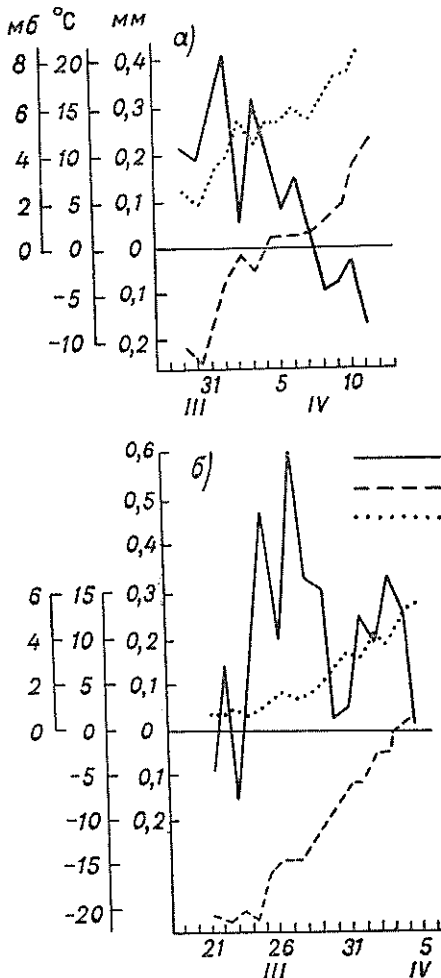


Рис. 11. Испарение (мм) с поверхности снежного покрова (1), температура (2) и абсолютная влажность (3) воздуха.

а — Панкрушиха (Приобское плато),
б — Андреевка (Северная Кулунда).

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

Испарение (—), конденсация (+)				Испарение (—), конденсация (+)			
Дата	ночь	день	сутки	Дата	ночь	день	сутки
1956 г. (Северная Кулунда, п. Андреевка)							
18 III	—	—0,20	—	29 III	—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				
24	+0,12	—0,39	—0,27	1 IV	—0,02	—0,24	—0,26
25	—0,33	—0,14	—0,47	2	+0,22	—0,42	—0,20
26	+0,06	—0,26	—0,20	3	+0,04	—0,37	—0,33
27	—0,45	—0,16	—0,61	4	+0,10	—0,38	—0,28
28	—0,11	—0,23	—0,34	5	+0,16	—0,12	+0,04
1956 г. (Приобское плато, с. Панкрушиха)							
29 III	+0,04	—0,25	—0,21	5 IV	+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	—
1 IV	—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	—
1957 г. (Приобское плато, с. Панкрушиха)							
26 III	—	—	—0,56	13 IV	—0,08	—0,54	—0,62
27	—	—	—0,26	14	+0,12	—0,03	+0,09
29	—	—	—0,35	15	—	—0,05	—
				16	—0,05	—0,49	—0,54
6 IV	—	—	—0,21	17	+0,03	—0,52	—0,49
10	—0,15	—0,20	—0,35	19	—0,17	—	—
11	+0,07	—0,19	—0,12	20	+0,06	—0,62	—0,56
12	+0,08	—	—	21	+0,09	—0,64	—0,55

ратуры и влажности воздуха. Наибольшие величины испарения наблюдаются до начала интенсивного снеготаяния при низкой абсолютной влажности воздуха (1—2 мб) и резком повышении температуры. Наименьшие величины наблюдаются в период интенсивного снеготаяния при высокой влажности воздуха (5—8 мб).

В зимний период испарение с поверхности снега может быть довольно значительным [31, 67, 117, 136, 204, 252]. Аналогичные сведения приводят также зарубежные ученые [275, 289, 292, 308]. После снеготаяния начинается бурное испарение влаги с поверхности хорошо увлажненной почвы. Поэтому своевременное проведение мероприятий по задержанию влаги в почве в Кулундинской степи — одно из основных условий, обеспечивающих получение высоких урожаев.

4.4. Инфильтрация в мерзлую почву

В большинстве случаев считают, что слабая водопроницаемость мерзлой почвы — явление неизбежное. Ряд авторов [99, 106, 116, 159, 192] 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 наблюдений было установлено, что почва в мелководных лиманах, наполняющихся снеговой водой, начинает впитывать воду только через несколько суток (в Кулундинской степи обычно через 5—6) после наполнения лимана. 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 (зяби, залежи, целине и т. д.). Поэтому нами были поставлены опыты по изучению инфильтрации в мерзлую почву на пахотных и целинных землях Приобского плато [148]. Опыты проводились в конце марта и в начале апреля 1954—1957 гг. в Родинском и Панкрушихинском районах Алтайского края. Почвенный покров опытных участков был представлен в основном среднесуглинистыми 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. Температура воды 0°C поддерживалась путем систематического добавления снега. Водопроницаемость определялась трехкратной повторностью.

Весной 1955—1957 гг. для определения водопроницаемости мерзлой почвы использовался способ Нестерова, 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 35 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.

Результаты двух опытов, выполненных весной 1954 г., приведены на рис. 12 и в табл. 40. 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 (табл. 41).

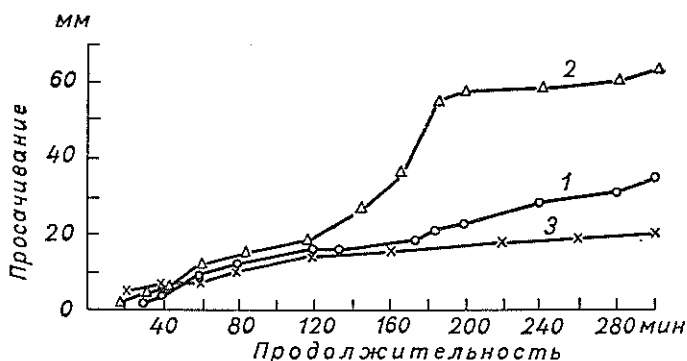


Рис. 12. Интегральные кривые впитывания воды в мерзлую почву.

1 — зябрь (1954 г.), 2 — целина (1954 г.), 3 — целина (1955 г.).

Таблица 40

Суммарное просачивание воды в мерзлую почву весной 1954 г.

Длительность впитывания от начала наблюдений (мин)	Суммарное просачивание в (мм)			
	10 IV (зябрь)		12 IV (целина)	
	опыт 1	опыт 2	опыт 1	опыт 2
17	—	—	—	2
29	2	—	—	6
40	4	—	5	8
54	6	—	7	9
62	8	1	—	11
72	9	—	9	—
83	12	3	12	15
91	13	5	—	18
114	—	—	15	19
124	14	7	19	21
134	15	10	21	27
144	—	10	25	32
154	—	—	—	37
165	—	12	29	42
174	18	13	37	56
184	21	15	44	58
200	23	17	47	59
240	29	20	54	62
280	31	23	61	64
320	35	24	63	65

Результаты наблюдений над просачиванием воды в мерзлую почву, выполненных весной 1955 г. на тех же участках, но при более повышенной влажности почвы, приведены в табл. 42.

Как видно из таблицы, в течение 6 ч почва впитала лишь 24,5 мм, в остальных опытах почва оставалась мерзлой с поверхности и практически не впитывала воду.

Таблица 41

**Впитывание воды в мерзлую почву (южные черноземы)
при различной влажности**

Дата	Номер опыта	Угодье	Средняя влажность пахотного слоя (22 см) (%)	Приращение запасов влаги в почве (мм)
4 IV—5 IV 1954 г.	2	Целина (сенокос)	17,19	22,0
	6	Зябрь (поперечная пахота)	24,24	0,12
25 III—27 III 1956 г.	5	Целина (сенокос)	12,15	49,4
	7	Зябрь (поперечная пахота)	13,85	31,6

Таблица 42

**Суммарное просачивание воды в мерзлую почву (целина)
весной 1955 г.**

Длительность впитывания от начала наблюдений (мин.)	Суммарное просачивание (мм)	Скорость просачивания (мм/мин)
20	4,20	0,21
40	5,60	0,14
60	7,80	0,13
80	10,4	0,13
120	14,4	0,12
160	16,0	0,10
220	17,6	0,08
260	18,2	0,07
300	21,0	0,07
360	24,5	0,07

Примечание. В конце опыта на поверхности воды в шурфе образовалась ледяная корка.

Таким образом, опыты подтвердили сравнительно слабую водопроницаемость мерзлых среднесуглинистых черноземов в период снеготаяния; впитывание прекращается при образовании на дне шурфа хотя бы небольшой ледяной корки, явление которой возможно при малейшем переохлаждении воды (ниже 0°C), что в условиях Западной Сибири бывает довольно часто.

Резко возрастает просачивание воды по мере оттаивания почвы (рис. 13). Наблюдения над оттаиванием и интенсивностью впитывания воды проводились на целинном участке (луг) весной 1954 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.

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

$$K_t = \frac{K_0}{t^\alpha}, \quad (24)$$

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.

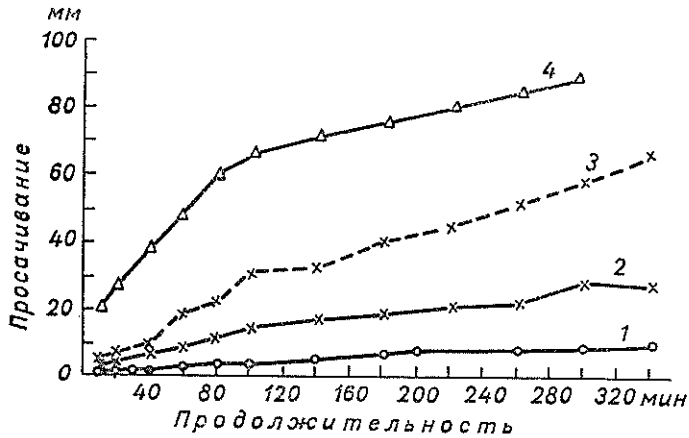


Рис. 13. Просачивание воды в почву при разной глубине оттаивания.

1 — 25 мм, 2 — 100 мм, 3 — 180 мм, 4 — 350 мм.

Для мерзлой среднесуглинистой почвы (южные выщелоченные черноземы) коэффициент α оказался равным в среднем 0,40 (табл. 43).

Таблица 43

Изменение показателя степени α при определении водопроницаемости мерзлых среднесуглинистых почв (южные черноземы)

Уголье	Слой почвы (см)					Среднее
	10	20	35	45	55	
Зябрь	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 количество воды (h), поглощенной почвой за расчетный промежуток времени:

$$h = \int_0^t K_t dt = \int_0^t \frac{K_0}{t^\alpha} dt = \frac{K_0 t^{1-\alpha}}{1-\alpha}. \quad (25)$$

Таким образом, для мерзлой среднесуглинистой почвы (южные выщелоченные черноземы) Кулундинской степи (Приобское плато) эта формула примет следующий вид:

$$h = 1,67 K_{0м} t^{0,6}, \quad (26)$$

где $K_{0м}$ — начальный коэффициент поглощения воды мерзлой почвой (мм/ч). Если нельзя определить эту величину зимой, ее определяют летом с внесением соответствующих поправок.

В тех случаях, когда почва к началу заполнения лимана оттаяла на всю глубину, что в условиях Западной Сибири бывает очень редко (при мягких зимах и большой глубине снежного покрова), то вместо $K_{0м}$ используется $K_{0т}$ (начальный коэффициент поглощения талой почвой). Если же происходит поглощение воды мерзлой почвой, а коэффициент поглощения определен летом, то в формулу необходимо ввести поправочный коэффициент β :

$$h = 1,67 \beta K_{0т} t^{0,6}. \quad (27)$$

Коэффициент β в условиях Кулундинской степи (Приобское плато) изменяется от 0,01 до 0,37 в зависимости от влажности и степени цементации мерзлой почвы (табл. 44).

Таблица 44

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

Влажность почвы (% НВ) . .	95,0	85,0	70,0	60,0	40,0
β	0,01	0,03	0,13	0,24	0,37

Приблизительно 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).

4.5. Миграция влаги в мерзлую почву

При промерзании почвы происходит процесс миграции влаги 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 понижению — в нижних.

Полевые опыты [72, 99, 116, 183, 279] показывают, что в течение зимы наблюдается восходящее движение воды в почво-грунтах. В процессе промерзания почвы в ее слоях происходит перераспределение влаги: влага подтягивается к промерзшим верхним слоям [143]. Этот процесс миграции влаги в зимний период подтверждается фактическими наблюдениями за изменением запасов влаги

в метровом слое почвы на метеостанции Родино (Приобское плато), а также за изменением запаса влаги в процессе промерзания почвы на склоне водораздела между селами Украинка и Мамонтово (табл. 45). Из данных таблицы 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 исследователями для других районов СССР.

Таблица 45

Увеличение влагозапасов в метровом слое почвы по метеостанции Родино

Годы	Дата				Увеличение влагозапасов в метровом слое почвы (мм)	Период накопления влагозапасов
	переход отрицательной температуры через 0° С осенью	установление снежного покрова	переход температуры через 0° С весной	сход снежного покрова		
1950—51	29 X	29 X	2 IV	5 IV	40	1 XI—10 IV
1951—52	31 X	3 XI	13 IV	13 IV	34	9 XI—25 III
1952—53	17 X	31 X	5 IV	5 IV	28	27 X—7 III
1953—54	25 X	1 XI	23 IV	16 IV	64	17 X—23 IV
1954—55	30 X	30 X	4 IV	3 IV	78	5 XI—20 III
1955—56	27 X	4 XI	8 IV	7 IV	42	3 XI—25 III

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 свойств верхнего слоя (объемный вес мерзлой почвы меньше, чем талой). Это нужно учитывать при расчете оросительных норм.

4.6. Оросительная норма при лиманном орошении

Величина оросительной нормы при лиманном орошении изучена совершенно недостаточно. По данным Н. С. Горюнова [53] и М. С. Сабирова [191], 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 глубоководных лиманов до 20—25 суток.

Д. С. Смирнов [211] указывает, что оптимальное увлажнение при лиманном орошении в Северном и Центральном Казахстане достигается при оросительной норме 2500—4000 м³/га, а продолжи-

тельность затопления лиманов 8—12 суток считает короткой. А. Г. Ларионов [121] и И. Е. Курченко [120] рекомендуют норму лиманного орошения 2000 м³/га.

В. С. Дмитриев [62] и Н. С. Кистанов [89] для лиманов Поволжья (Саратовская область) считают достаточной оросительную норму 2500 м³/га, так как при больших нормах (5000—9000 м³/га) происходит развитие осок, тростников и заболачивание участков лиманного орошения. И. В. Ларин [122] указывает, что пырей ползучий не выдерживает затопления длительностью свыше 30 суток и что для получения урожая 50—60 ц/га необходима норма орошения 4000—4500 м³/га (слой воды 40—45 см) при продолжительности затопления 20—25 суток.

Рекомендуемые оросительные нормы при лиманном орошении лесных полос не превышают 2000—2500 м³/га. Р. Э. Кригер [110] на основании опытных данных лиманного стационара в Поволжье пришел к выводу, что величина оросительной нормы из расчета насыщения до полной влагоемкости слоя почвы 2 м составляет 5000 м³/га при промерзании до 0,3 м и 4400 м³/га при промерзании до 0,8 м.

Противоречивые и разнообразные рекомендации по нормам и длительности затопления при лиманном орошении — результат недостаточности фактических наблюдений и экспериментальных работ на искусственных глубоководных и мелководных лиманах при различных почвенно-геологических условиях и режимах затопления.

Так, например, при устройстве мелководных лиманов средний слой затопления равен норме лиманного орошения, что обеспечивает расходование воды весеннего стока и удешевляет оросительную систему, так как при этом нет необходимости в устройстве водосбросных сооружений для опорожнения лиманов.

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

$$M = 100(\beta - \rho)HA, \quad (28)$$

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

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

Б. А. Шумаков и Б. Б. Шумаков [267] рекомендуют определять оросительную норму при лиманном орошении по следующей зависимости:

$$M = K_b Y - 10\mu_1 \sum X_1 - 10\mu_2 \sum X_2, \quad (29)$$

Расчет оросительной нормы и продолжительности затопления лиманов (на

Геоморфологический район	Вид лиманов и сельскохозяйственные угодья	Замерзший слой						
		глубина промерзания (м)	начальная влажность почвы (%)	объемный вес почвы (т/м³)	просачивание (м³/га)	скважность (%)	находящаяся влагоемкость (м³/га)	количество воды, впитавшейся до наименьшей влагоемкости (м³/га)
Приобское плато (южные средне-суглинистые черноземы)	Лиманы луговые (целина)	1,0	20	1,25	2500	53	3880	1380
		1,5	22	1,28	4220	53	5900	1680
	Лиманы полевые (зябрь)	0,9	22	1,25	2480	53	3380	900
		1,5	24	1,28	4600	53	5900	1300
Северная Кулунда (средний солонец, суглинок)	Лиманы луговые (целина)	1,0	20	1,50	3000	45	4350	1350
		1,5	21	1,56	5090	45	6800	1710
	Лиманы полевые (зябрь)	0,9	22	1,50	2970	45	3920	950
		1,5	21	1,56	4910	45	6550	1740
Павлодарское плато (каштановые легкосуглинистые и супесчаные)	Лиманы луговые (целина)	1,0	14	1,38	1930	42	3070	1140
		1,5	12	1,43	2580	42	4250	1670
	Лиманы полевые (зябрь)	0,9	15	1,38	1870	42	2690	820
		1,5	13	1,43	2790	42	4310	1340

где M — норма лиманного орошения (м³/га); K_v — коэффициент водопотребления (м³/т); Y — плановая урожайность сельхозкультур, т/га; μ_1 — коэффициент использования осадков в вегетационный период; μ_2 — коэффициент использования осадков в невегетационный теплый период; ΣX_1 — осадки, выпадающие за вегетационный период (мм); ΣX_2 — осадки невегетационного теплого периода (мм).

Оросительная норма при лиманном орошении, вычисленная по формуле (29), для многолетних трав (люцерны) Приобского плато (Баево, Родионо, Хабары) составляет 2800, а для однолетних трав (сорго, суданки) и корнеплодов — соответственно 2200 и 2000 м³/га.

При ориентировочных расчетах фактических норм лиманного орошения сенокосных и пахотных угодий в Кулундинской степи (Приобское и Павлодарское плато, Северная Кулунда) мы на основании экспериментальных стационарных исследований учитываем глубину промерзания и динамику оттаивания, условия впитывания в мерзлую почву, а также величину начальной влажности перед наполнением лиманов и количество воды, впитавшейся до наименьшей влагоемкости в двухметровом слое почвы (табл. 46). В таблице даны осредненные показатели влажности в процентах от веса сухой почвы, скважность, объемный вес и коэффициенты впитывания в мерзлую почву. Глубина промерзания 1,5 м на лиманах наблюдается редко.

Приведенные в таблице величины оросительных норм составляют в среднем 3000 м³/га при промерзании 0,9—1,0 м и 2700 м³/га

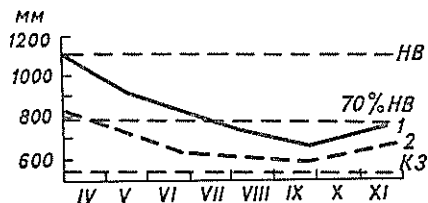
Таблица 46

основе полевых исследований в Кулундинской степи в 1954—1965 гг.)

Незамерзший слой								Продолжительность затопления (в сутках) при скорости впитывания в мерзлую почву (см/мин)	
глубина промерзания (м)	начальная влажность почвы (%)	объемный вес почвы (т/м³)	просачивание (м³/га)	скажность (%)	наименьшая влагоемкость (м³/га)	количество воды, впитавшейся до наименьшей влагоемкости (м³/га)	Оросительная норма (м³/га)		
1,0	16	1,35	2160	53	3780	1620	3000	20	15
0,5	14	1,45	1020	53	2040	1020	2700	18	13,5
1,1	14	1,35	2080	53	4150	2070	2970	20	15
0,5	13	1,45	940	53	2020	1080	2380	16	12
1,0	15	1,56	2340	45	4500	2160	3510	23,5	17
0,5	13	1,56	1000	45	2250	1250	2960	20	14,5
1,1	14	1,56	2400	45	4800	2400	3350	22	16,5
0,5	12	1,56	960	45	2250	1290	3030	20	15
1,0	9	1,52	1370	42	2910	1540	2680	18	13,5
0,5	8	1,58	630	42	1570	940	2610	17	13
1,1	10	1,52	1670	42	3250	1580	2400	16	12
0,5	9	1,58	710	42	1540	830	2170	14,5	11,5

при промерзании до 1,5 м. Интересно отметить, что наши данные для Павлодарской области весьма близки к данным, полученным И. Б. Вольфцуном и К. И. Смирновым [43] для Баксайского лимана Гурьевской области, хотя эти авторы проводили расчет оросительных норм по другой методике.

Рис. 14. Динамика запасов влаги (мм) в трехметровом слое почвы мелководного лимана (1) и неорошаемого участка (2) южных черноземов Приобского плато.



Продолжительность затопления глубоководных лиманов при наименьшей скорости впитывания в мерзлые почвы 0,001 $\text{см}/\text{мин}$, в луговых и пахотных лиманах колеблется в незначительных пределах, от 16 до 20 суток, а при скорости впитывания 0,0015 $\text{см}/\text{мин}$ — от 12 до 17 суток. Благодаря глубокой весенней влагозарядке динамика влажности на мелководных лиманах изменяется по сравнению с неорошаемыми участками (рис. 14).

Общий весенний запас влаги в почве мелководных лиманов составляет в среднем в слое 0—1 м 3800 $\text{м}^3/\text{га}$, в слое 1—2 м — 3400 $\text{м}^3/\text{га}$ и в слое 2—3 м — 3200 $\text{м}^3/\text{га}$ (на неорошаемом участке 2800, 2200 и 1800 $\text{м}^3/\text{га}$ соответственно, рис. 15 и 16). Запас продук-

тивной влаги в трехметровой толще лимана за май—сентябрь в среднем уменьшается с 4830 до 820 м³/га, причем значительное количество влаги содержится не только в первой половине вегетации, но и во второй. На неорошаемом участке запас продуктивной влаги в соответствующем слое в среднем уменьшается с 1920 до 280 м³/га, однако в основном продуктивные запасы исчерпываются уже в июне.

Весенний запас влаги в почве лимана уменьшается за тот же период в слое 0—1 м с 3800 до 1840 м³/га, в слое 1—2 м — с 3400 до 2450 м³/га и в слое 2—3 м — с 3200 до 2680 м³/га. В почве неорошаемого участка зафиксировано значительное уменьшение за-

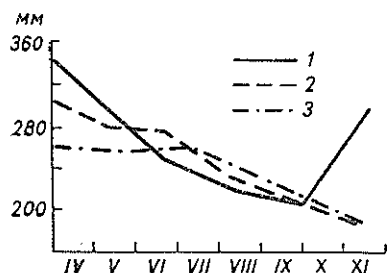


Рис. 15. Динамика запасов влаги (мм) в метровых слоях почвы мелководного лимана (среднее за 1954—1956 гг.).

1) 0—1 м, 2) 1—2 м, 3) 2—3 м.

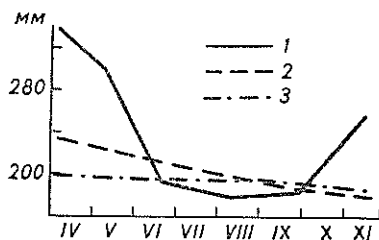


Рис. 16. Динамика запасов влаги (мм) в метровых слоях почвы неорошаемого участка (среднее за 1954—1956 гг.).

Усл. обозначения см. рис. 15.

паса влаги лишь в верхнем метровом слое — с 2800 до 1720 м³/га. В слое 1—2 м запас влаги уменьшился лишь на 590 м³/га, а в слое 2—3 м оставался по существу без изменений на протяжении всего периода наблюдений.

Таким образом, благодаря глубокой весенней влагозарядке динамика влажности почвы лимана изменяется не только в весенние, но и в летние месяцы. При лиманном орошении фактически 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.

Несмотря на то что процесс иссушения почвы неорошаемого участка фактически прекращается в мае, а в лимане убыль запасов влаги происходит до глубокой осени, конечный остаточный запас влаги в почве лимана больше, чем на неорошаемом участке.

4.7. Влияние лиманного орошения на засоление почв

Вопросу влияния регулярного орошения на почвы посвящено значительное число работ. Что же касается лиманного орошения, имеющего специфические черты, то к настоящему времени опубликованы материалы, освещающие главным образом почвообразова-

ние в естественных лиманах за многие века их существования [28, 89, 122, 267, 270].

Почвы искусственных лиманов в той или иной степени отличаются от степных и полупустынных почв, распространенных на территории лиманов до их устройства, по строению почвенного профиля, количеству гумуса, структуре и т. д. Основными факторами, вызвавшими эти изменения, являются: длительное весеннее затопление и мощно развивающаяся здесь растительность лугового типа. Выяснение влияния лиманного орошения на засоление почв имеет большое теоретическое и практическое значение.

А. Н. Костяков указывает, что исследования влияния лиманного орошения на засоление почв должны дать основания для проектирования и строительства оросительных сооружений, обеспечивающих благоприятное для сельского хозяйства воздействие на почвообразовательный процесс.

Влияние лиманного орошения на почвы изучалось путем сравнения почв орошаемых и неорошаемых участков земель Первомайского совхоза Родинского района Алтайского края. Почвы были представлены маломощным южным черноземом среднесуглинистого механического состава. Разрезы по возможности закладывались до глубины грунтовых вод. Там же измерялись влажность почвы, водопроницаемость, объемный и удельный вес. В почвенных образцах определялся механический состав, гигроскопичность, количество и состав водонерастворимых солей.

Почвы искусственных лиманов содержат больше водопрочных агрегатов, чем степные и полупустынные почвы (рис. 17 и 18), и представлены преимущественно агрегатами диаметром от 1 до 3 мм со значительным количеством комочков от 3 до 5 мм. Солевой режим почв в лиманах складывается в зависимости от природных условий почвообразования и от режима затопления (табл. 47).

Таблица 47

Солевой режим типчаково-ковыльной степи и естественного кострово-мятликово-пырейного луга в богарных условиях и при лиманном затоплении¹

Элемент аналитических определений	Полынная степь		Естественный луг	
	богарная	при лиманном затоплении (15 суток)	богарный	при лиманном затоплении (15 суток)
Сухой остаток	2361	1588	1290	620
Щелочность общая . . .	256	387	415	317
Щелочность нормальных карбонатов	0	0	0	0
Хлор	440	158	106	69
SO ₄	620	365	157	86
pH	7,8	7,6	7,4	7,2

¹ Содержание воднорастворимых солей (мг/кг) почвы для пахотного горизонта (0—20 см).

Из приведенных данных видно, что в степи после затопления повышается общая щелочность; количество хлора при этом уменьшается. На богарном лугу по всем показателям почва преснее,

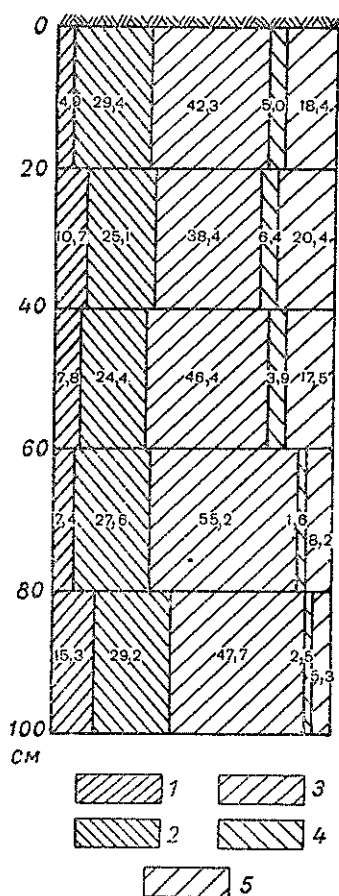


Рис. 17. Механический состав на богаре южных среднесуглинистых черноземов на выгоне (2 октября 1953 г.).

1) >1 мм, 2) 1,0—0,25 мм, 3) 0,25—0,05 мм, 4) 0,05—0,01 мм, 5) <0,01 мм.

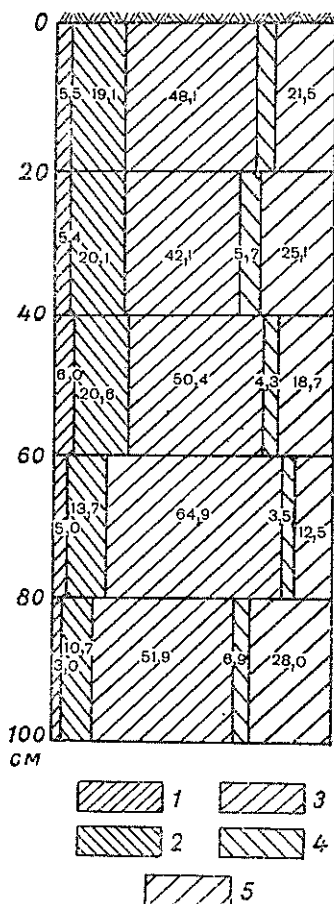


Рис. 18. Механический состав почвы на выгоне после 15-суточного затопления (20 октября 1956 г.).

Усл. обозначения см. рис. 17.

чем в целинной степи, как до затопления, так и после. Лиманный луг опреснен намного сильнее богарного и тем более степи (рис. 19 и 20). Аналогичные результаты получили Д. С. Смирнов [211] для Центрального Казахстана и Н. С. Кистанов [89] для Поволжья.

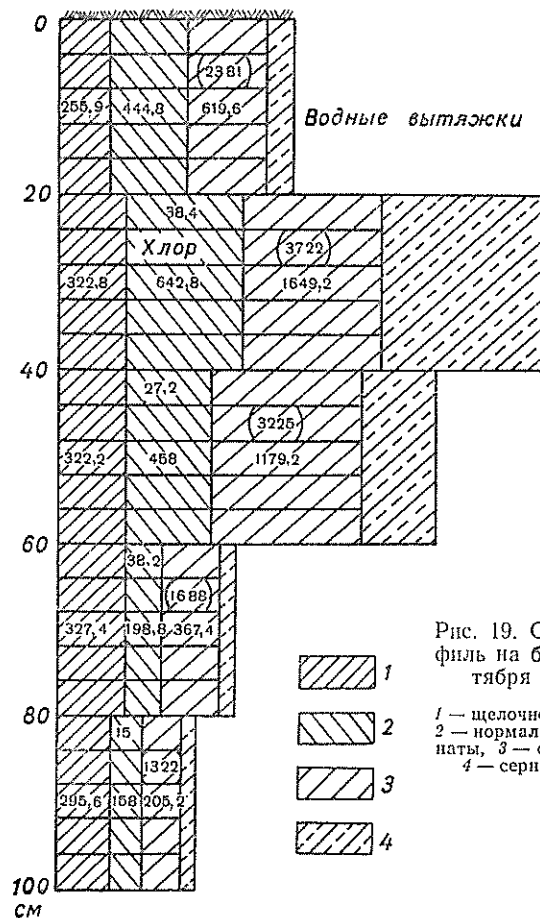


Рис. 19. Солевой профиль на богаре (2 октября 1953 г.).

1 — щелочность общая,
2 — нормальные карбо-
наты, 3 — сухой остаток,
4 — серная кислота.

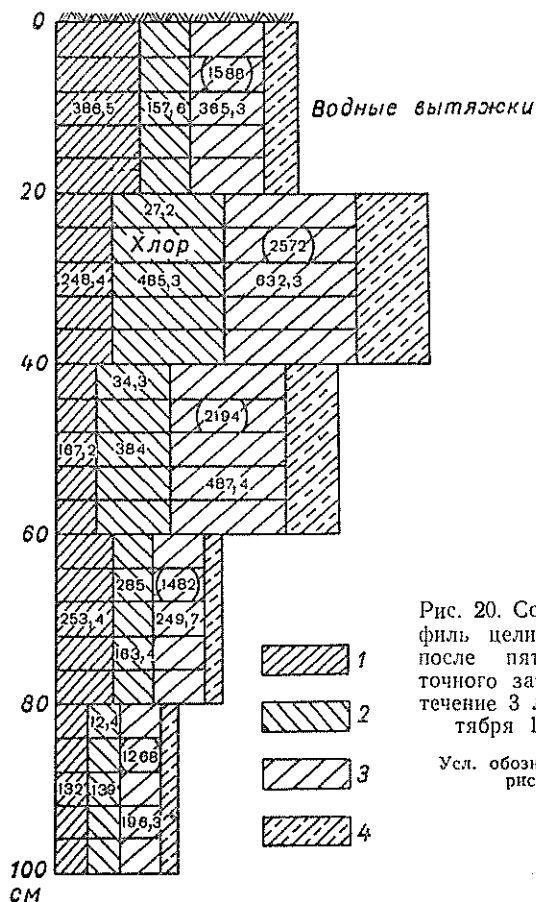


Рис. 20. Солевой профиль целинной степи после пятнадцатисуточного затопления в течение 3 лет (20 октября 1956 г.).

Усл. обозначения см.
рис. 19.

Рассоление, как нам представляется, происходит следующими путями. Во-первых, весенние воды пресны и при низкой температуре содержат много угольной кислоты. Эта вода растворяет соли почвы, понижает щелочность почвенного раствора и выносит растворенные соли вместе со сбрасываемыми водами за пределы данного лимана (табл. 48). Во-вторых, растительность, вегетирующая на поверхности лимана, корнями и надземной массой биологически связывает воднорастворимые соли и тем самым биологически рассоляет профиль почво-грунта.

Таблица 48

Динамика солевого режима воды (мг/л) по ярусам глубоководного лимана
(п. Зеленый Луг, 1954 г.)

	Дата взятия проб	НСО ₃	Cl	SO ₄	Плотный остаток	Ca	Mg
Ярус № 1	12 V	268	53	13	381	47	35
Ярус № 5	13 V	319	161	60	500	59	65
Сброс	14 V	240	199	70	540	63	74

На исследованных участках лиманного орошения в Кулундинской степи нами не наблюдалось вторичного засоления (при нормальном режиме затопления). Засоление имеет место лишь в тех случаях, когда существует подпор грунтовых засоленных вод или когда поверхностные воды застаиваются слишком долго (более 30 суток).

4.8. Основные принципы мелиорации степных озер

Автор и А. Д. Саваренский предлагают различные методы комплексных мелиораций.

Система комплексных мелиоративных мероприятий на водосборах соленых озер имеет целью смещение на более низкие отметки всех зон путем устройства соответственно размещенных мелководных лиманов, снегозадержания кулисами, послойной, а иногда и безотвальной вспашки солонцов (рис. 21). В результате проведения этих мероприятий произойдет существенное снижение уровня воды в озерах и грунтовых водах на прилегающих к водоемам сельскохозяйственных угодьях и смещение всех зон в сторону усажающего озера. Значительный прирост пахотоспособных земель произойдет за счет промывки солонцов путем лиманного орошения и простейших агротехнических мероприятий (снегозадержания, дискования, безотвальной пахоты).

Комплексная мелиорация пресных озер и займищ может быть осуществлена по второй схеме (рис. 22). В результате осуществления этой схемы на водосборах пресных озер и займищ произойдет существенное увлажнение верхних и средних склонов (снегозадержание и лиманное орошение) и вовлечение в хозяйственный обо-

рот осушенных массивов мелководий для сенокосов и пастбищ. При этом предполагается ограничивать количество задерживаемого

Рис. 21. Комплексные мелиорации на водосборе соленого озера.

2 — современное состояние, б — комплексные мелиорации, в — профиль зон в районе соленого озера в современном состоянии, г — происходящие понижения уровня воды в соленом озере и уровня грунтовых вод в районе озера, смещение всех зон в сторону усыхающего озера; 1 — первоначальное зеркало соленого озера, 2 — зона солончаков и заболоченности, 3 — зона солонцов непахотнеспособных, 4 — пахотнеспособные солонцеватые почвы и южные черноземы, 5 — усыхающее соленое озеро, 6 — мелководные лиманы (промывка солонцов), сенокосы, 7 — мелиорированные солонцы (безотвальная пахота, дискование, снижение уровня грунтовых вод), 8 — пахотнеспособные солонцеватые почвы и южные черноземы со снегозадержанием, кулисами и стерней.

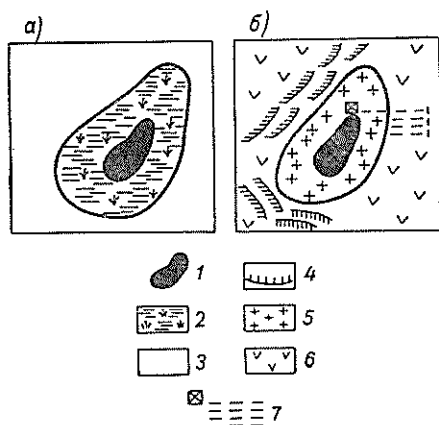
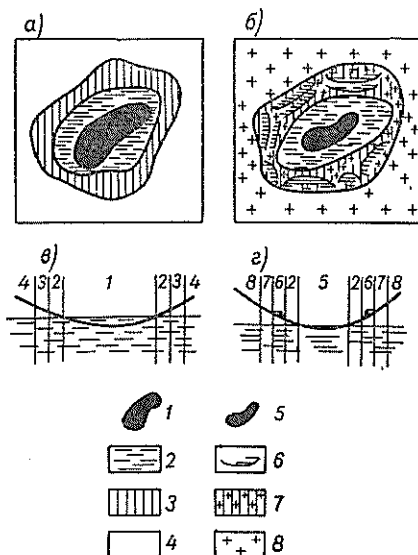


Рис. 22. Комплексные мелиорации на водосборе пресного озера.

а — современное состояние, б — комплексные мелиорации; 1 — первоначальное зеркало пресного озера или займища, 2 — мелководия и заболоченные участки, 3 — пахотнеспособная площадь, 4 — участки лиманного орошения, 5 — осушенные сенокосы, 6 — снегозадержание, 7 — возможное регулярное орошение дождеванием с механическим водоподъемом.

поверхностного стока таким образом, чтобы не ухудшалось качество воды в пресных озерах. Сохранение пресных водоемов необходимо для водоснабжения, рыбоводства и других целей.

4.9. Выбор расчетной обеспеченности весеннего стока при проектировании лиманного орошения

Расчетная обеспеченность весеннего стока является важной характеристикой при проектировании лиманного орошения на местном стоке. Принимая в расчетах сток большой обеспеченности,

мы занижаем площадь лиманного орошения и увеличиваем частоту затопления. При уменьшении обеспеченности возрастает проектная площадь орошения и снижается относительная величина затопления.

Каждую оросительную систему на местном стоке надо рассматривать не как изолированную хозяйственную единицу, а как звено в системе мероприятий по борьбе с засухой. Лиманное орошение на местном стоке охватит относительно небольшую площадь в хозяйствах (в Кулундинской степи около 4%). Оросительные системы на местном стоке, в комплексе с лесонасаждением, снегозадержанием, гребнистой пахотой, микролиманами на зяби и другими приемами влагонакопления способствуют активизации водного баланса засушливых и полузасушливых областей.

Ежегодное задержание стока снеговых вод ведет к накоплению влаги в почве. Поэтому объем и коэффициент использования стока желательно и необходимо увеличивать в разумных, хозяйственно целесообразных пределах без нарушения географической среды в целом.

Нормированная постоянная обеспеченность стока для всех зон СССР и даже для всех хозяйств одной зоны недопустима. Только в результате разработки разных вариантов можно найти оптимальное решение.

Выбор расчетной обеспеченности стока и площади орошения должен производиться с учетом потребности и фактического наличия в хозяйстве орошаемых и неорошаемых земель и создания страховых фондов семян, продовольствия и фуража [193, 254].

С этой целью следует выполнять расчет для ряда лет, принимая для них конкретные метеорологические условия и сток. В расчетах для каждого года учитываются следующие величины: фактический приток воды в лиман, фактическая продукция затопляемых земель, фактическая продукция неорошаемых земель, минимальная потребность хозяйства в продукции, недостаток или избыток продукции и связанное с этим заимствование или накопление страховых запасов. Такой расчет определит степень устойчивости сельскохозяйственной продукции в хозяйствах при разных вариантах площади лиманного орошения.

При проектировании лиманного орошения обычно принимается расчетная обеспеченность весеннего стока 50%. При этом обычно отсутствует экономическое обоснование выбора этой обеспеченности. Как правило, в экономических расчетах не учитывается тип лимана (пойменный, глубоководный или склоновый), а также состав сельскохозяйственных культур на нем (сенокосы и пастбища, пахотные угодья с посевом полевых культур или лесные полосы). В последние годы во многих работах [53, 120, 191, 193] даются различные рекомендации по выбору расчетной обеспеченности речного и местного стока. Б. Б. Шумаков и М. И. Парамонов утверждают, что оптимальная обеспеченность стока в каждом конкретном случае различна, так как она зависит от гидрологических условий района проектирования, рельефа, размеров водосборной площади.

Принятые в проектах объемы стока и проектные площади рекомендуется подтвердить экономическими расчетами. Б. А. Шумаков [268] считает, что водохозяйственный расчет площади лиманного орошения следует производить на сток 20—30%-ной обеспеченности, а при проектировании лиманов, использующих сбросные воды водохранилищ, и при мелиорации замкнутых понижений — на сток 5—10%-ной обеспеченности.

Н. Н. Островная [168] и В. С. Дмитриев [62] на основании водохозяйственно-экономического расчета считают, что при проектировании и строительстве лиманов для производства кормов (сена) экономически более целесообразна 25%-ная расчетная обеспеченность стока, а не 50%-ная, как это рекомендуется во временной инструкции по проектированию лиманного орошения.

К. И. Шавва [265] для определения экономически оправданной обеспеченности систем лиманного орошения в основу расчета положил коэффициент эффективности капиталовложений, который обычно определяется отношением чистого дохода к величине суммарных капитальных вложений на строительство и сельскохозяйственное освоение лиманов.

С изменением расчетной обеспеченности изменяются размеры оросительной системы, количество получаемой сельскохозяйственной продукции, ее себестоимость, величина капитальных вложений в систему лиманного орошения и, естественно, коэффициент эффективности капиталовложений.

Экономически оправданной является такая обеспеченность, когда коэффициент эффективности капиталовложений будет наибольшим или равным предельно допустимому значению, установленному нормативами для лиманного орошения. Валовой доход и издержки производства на получение сельскохозяйственной продукции должны учитываться по среднегодовой плановой производительности системы с учетом продукции, получаемой на неполивных площадях лиманного орошения в маловодные годы. Эксплуатационные издержки оросительной системы определяются по ее расчетной мощности, соответствующей данной обеспеченности. Ущерб от недодачи воды на орошение лиманов может быть вычислен по среднегодовой величине неполивных площадей с учетом «омертвления» капиталовложений [264].

По нашему мнению [146, 152], к выбору расчетной обеспеченности стока при проектировании лиманного орошения следует подходить дифференцированно, с учетом типа проектируемых лиманов и состава сельскохозяйственных культур на орошаемых землях. Размеры площадей мелководных склоновых лиманов для степной зоны Западной Сибири и Северного Казахстана следует рассчитывать на сток 25%-ной обеспеченности, а пойменные и глубоководные лиманы пахотных угодий — на сток 50%-ной обеспеченности. При проектировании и строительстве лиманов для производства кормов (сена естественных трав) экономически целесообразна 25%-ная расчетная обеспеченность не только для мелководных, но и для глубоководных и пойменных лиманов. Это связано с тем, что

естественные многолетние травы с развитой корневой системой могут использовать в маловодный по стоку год влагу более глубоких горизонтов (2—3 м), накопленную в предыдущие годы. По нашим исследованиям в 1954—1957 гг. на Новороссийском лимане в Родинском районе Алтайского края, урожай пырейно-злаковых ассоциаций на следующий год после затопления составил 75% от урожая с затопленного участка (22 ц/га), а на второй год без затопления — 45—50% (14—16 ц/га). Следует также иметь в виду и то обстоятельство, что в Западной Сибири, как правило, многоводные годы по стоку — засушливые (1955 г.) и наоборот, маловодные годы сравнительно хорошо обеспечены осадками в период вегетации (1954 г.). В частности, по нашим расчетам, для Приобского плато при обеспеченности стока 50% обеспеченность орошения составляет 65—75% и выше. Это объясняется асинхронностью колебаний гидрометеорологических явлений.

Склоновые ярусные лиманы на водосборах замкнутых бессточных понижений для Павлодарского плато и Прииртышской пониженной равнины следует рассчитывать на сток 5—10%-ной обеспеченности, так как в этих условиях нет возможности сбрасывать излишки воды в водоприемники в период весеннего паводка.

При проектировании лиманов под более интенсивные сельскохозяйственные культуры (сахарную свеклу, кукурузу, однолетние травы) расчетную обеспеченность, по-видимому, следует повысить до 35—50%, одновременно предусматривая ряд мероприятий, ослабляющих неблагоприятные последствия периодической работы лиманов (например, снегозадержание на водосборах лиманов путем посадки лесных полос в резервах верховой стороны земляных валов).

При лиманном орошении пахотных угодий нужно дифференцированно использовать площади: на верхних ярусах лиманов возделывать более урожайные кормовые культуры (сорго, кукурузу, люцерну, зернобобовые), а на глубоких нижних ярусах — естественные травы (пырей, житняк и др.).

Расчетная обеспеченность при проектировании лиманного орошения лесных полос может быть доведена до 75%, так как в засушливых условиях степной зоны очень плохая приживаемость саженцев в первые годы посадки. По мере укоренения лесных полос можно произвести реконструкцию лиманов на средний сток и выше среднего.

Для того чтобы выявить экономическую целесообразность лиманов, использующих сток низкой обеспеченности, нами произведены соответствующие расчеты для степной зоны Алтайского края. В качестве примера приведем данные по р. Бурле (площадь водосбора $F=8300$ км²).

Рассмотрим случай, когда часть лиманов (50%) используется в качестве естественных сенокосов, а часть — для выращивания кукурузы на силос. Примем норму стока для р. Бурлы $h=6,4$ мм [169], коэффициенты вариации и асимметрии соответственно $c_v=0,9$, $c_s=2c_v$. Принимаем условно чистый доход от выращивания на лиманах

нах естественных трав (сено) и кукурузы на силос в среднем 30 руб/га (за вычетом издержек производства). В маловодные годы, когда невозможно оросить всю обвалованную площадь лиманов, будет недоиспользована «замороженная» часть капиталовложений самой оросительной системы, капиталовложения на приобретение сельскохозяйственных машин и пр. В расчетах принимаем потери от замораживания на 1 га неполивной площади (ущерб) — 3,6 руб/га.

Технико-экономический расчет определения оптимальной площади лиманного орошения при различной обеспеченности весеннего стока приведен в табл. 49. Из анализа таблицы видно, что оптимальная площадь проектируемой системы, найденная по наибольшему коэффициенту эффективности капиталовложений (0,263), составляет 28 342 га и соответствует 25%-ной расчетной обеспеченности лиманов. Этой расчетной обеспеченности в данном случае соответствует и наименьший срок окупаемости — 3,8 года.

Таблица 49

Выбор расчетной обеспеченности стока для системы лиманов на р. Бурле (Алтайский край) при выращивании естественных трав на сено и кукурузы на силос

Обеспеченность весеннего стока (%)	Площадь оросительной системы (га)	Среднегодовья затопляемая площадь (га)	Общий среднегодовой валовой доход системы (руб.)	Среднегодовой ущерб по системе (руб.)	Среднегодовой чистый доход за вычетом ущерба (руб.)	Суммарные капиталовложения в систему (тыс. руб.)	Коэффициент эффективности капиталовложений	Срок окупаемости капиталовложений (годы)
90	2 500	2 425	72 750	270	72 480	603,0	0,120	8,4
75	6 333	5 458	163 740	3 150	160 590	1393,0	0,115	8,2
50	16 150	11 450	344 000	16 900	327 100	1430,0	0,229	4,4
25	28 342	16 042	491 500	44 400	447 100	1697,7	0,263	3,8
10	54 308	20 108	603 240	123 000	480 240	2688,2	0,179	5,6
5	71 250	23 250	698 000	172 600	525 400	3249,0	0,162	6,2

Определение оптимальной площади орошения при проектировании лиманов по коэффициенту эффективности капиталовложений, как указывает К. И. Шавва [265], позволяет получить наибольший чистый доход при наименьших капитальных затратах.

4.10. Перспективы развития лиманного орошения

Несмотря на высокую эффективность, лиманное орошение в Кулундинской степи развивается сравнительно медленно. По данным обследований, проведенных автором в составе Алтайской комплексной экспедиции МГУ, общая площадь лиманного орошения в Кулунде на 1 октября 1970 г. составила 66 тыс. га, из них

31 тыс. га — в пойме р. Иртыша (Павлодарская область) 28,5 тыс. га — в Алтайском крае и 6,5 тыс. га — в Новосибирской области. В большинстве это — одноярусные глубоководные лиманы, расположенные преимущественно на Приобском плато (Баевский, Родинский, Каменский, Благовещенский, Шипуновский, Панкрушихинский и другие районы Алтайского края). В бассейнах рек Бурлы, Карасука и Суетки имеются пойменные лиманы (около 12 тыс. га).

Лиманное орошение, как было показано, должно проектироваться на сток 25—35%-ной обеспеченности, чтобы обеспечить многолетнее регулирование не путем создания запасов воды в многоводные годы для расходования их в маловодные, а путем создания запасов кормов с дополнительных площадей лиманного орошения в многоводные годы для расходования их в маловодные.

Для ориентировочных расчетов при проектировании лиманного орошения в табл. 50 приведены размеры среднего весеннего стока и водосборной площади, необходимой для устройства 1 га лиманов в основных геоморфологических районах Кулундинской степи. В основу расчета принят сток 25 и 50%-ной обеспеченности и норма лиманного орошения 3000 м³/га.

Таблица 50

Размеры среднего весеннего стока и водосборной площади, необходимой для проектирования 1 га лиманного орошения

Геоморфологический район	Пойменные и глубоководные лиманы		Мелководные склоновые лиманы	
	весенний сток 50%-ной обеспеченности (мм)	площадь водосбора (га), необходимая для орошения 1 га	весенний сток 25%-ной обеспеченности (мм)	площадь водосбора (га), необходимая для орошения 1 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 КазССР)	—	—	30—40	10—7

Определение величины стока с малых водосборов, площадью несколько квадратных километров, или с отдельных склонов, проведенное нами в Кулундинской степи и Е. Д. Сабо в Поволжье, 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 исследования экспедиций ГГИ в 1955—1958 гг. в районах освоения целинных и залежных

земель. В табл. 51 приведены переходные коэффициенты от стока средних рек с площадью водосбора 3—20 тыс. км², к стоку с малых водосборов.

Таблица 51

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

Область, край	Геоморфологический район	Площадь водосбора (км ²)							
		3000 и более	1000	500	100	50	10	5	1
Новосибир- ская область Алтайский край Павлодарская область КазССР	Северная Кулунда . . .	—	1	1,2	1,6	1,9	2,7	3,1	4,7
	Центральная Кулунда	—	1	1,25	1,8	2,1	3,0	3,7	6,2
	Приобское плато . . .	—	1	1,2	1,7	1,8	2,6	3,0	4,5
	Павлодарское плато . .	1	1,25	1,5	2,5	3,0	5,0	6,2	8,0
	Прииртышская пони- женная равнина . .	—	1	1,25	1,8	2,1	3,2	4,0	6,5

Из приведенных 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 величине стока 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 добегания на водосборах разной величины. От последнего фактора зависит величина потерь на инфильтрацию и испарение.

На основании многолетних исследований стока со склонов малых водосборов для Кулундинской степи можно установить следующие относительные значения стока в зависимости от использования земельных угодий:

Целина (сенокос)	1,0	Пахота (зябь) вдоль склона	0,3—0,4
Залежь многолетняя	0,9	Пахота поперек склона и	
Стерня пшеницы нелущеная	0,8	зябь безотвальная	0,15—0,20
Стерня пшеницы лущеная . .	0,4	Содовый солончак (цели-	
Целина (выгон)	0,7—0,8	на)	1,0
Пар (чистый)	0,5	Среднестолбчатый солонец	0,3

Как известно, для устройства лиманного орошения необходим сравнительно спокойный рельеф с незначительным уклоном, $\leq 0,002$. При изучении рельефа степи в Родинском районе Алтайского края с точки зрения возможности устройства систем лиманного орошения были выделены следующие характерные разновидности (табл. 52). На территории Родинского района 42% (1291 км²) водосборной площади неудобны или малоудобны для устройства лиманного орошения. Из разновидностей рельефа, удобных для устройства лиманного орошения, можно использовать, по-види-

тому, не больше половины. Другая же половина водосборной площади района по ряду организационно-хозяйственных, почвенных и гидрологических условий непригодна для устройства лиманов. Таким образом, на территории Родинского района под лиманное орошение можно использовать по меньшей мере 30—40 тыс. га. Приблизительно такие же возможности развития лиманного орошения имеются и в других районах Приобского плато.

Таблица 52

Типы лиманов в зависимости от разновидностей рельефа (на примере Родинского района Алтайского края)

Характерная разновидность рельефа	Площадь		Пригодность для лиманного орошения	Тип лиманов
	%	км ²		
Поймы степных рек, логов и балок	5,3	167	Удобная	Пойменные и глубоководные ярусные лиманы
Водораздельное плато	1,2	36	Малоудобная	Выборочно мелководные ярусные лиманы
Крутые изрезанные склоны ($i > 0,01$)	0,3	10	Неудобная	—
Слабоизрезанные склоны ($i = 0,01 \div 0,005$)	3,6	110	Малоудобная	Выборочно мелководные склоновые лиманы
Безуклонное плато ($i < 0,00001$)	34,8	1070	Неудобная	—
Пологие склоны ($i = 0,005 - 0,0001$)	51,5	1600	Удобная	Мелководные ярусные лиманы
Замкнутые понижения	1,3	39	Удобная	Мелководные склоновые лиманы
Русла рек, оврагов, населенные пункты и т. д.	2,0	65	Неудобная	—

При определении объема стока с крупных водосборов (рек) Кулундинской степи считалось, что сток обеспеченностью 75% будет использован для регулярного орошения, разведения рыбы (пополнения низовых озер) и хозяйственно-бытовых целей, а разность объемов стока 75%-ной и 50%-ной или 25%-ной обеспеченности может быть использована для лиманного орошения. При определении ориентировочного объема стока с малых водосборов считалось, что практически весь объем весеннего стока 25%-ной или 50%-ной обеспеченности может быть использован для лиманного орошения. Расчет возможной площади развития лиманного орошения в Кулундинской степи приводится в табл. 53 и на рис. 23.

Площадь возможного применения лиманного орошения при расчете на сток 25%-ной обеспеченности составляет около 600 тыс. га, а при расчете на сток 50%-ной обеспеченности — около 300 тыс. га. В связи с тем что не весь местный сток может быть использован для лиманного орошения на склонах и на замкнутых водосборах (по рельефным и почвенным условиям), нами на основании материалов табл. 38 и расчетов введен понижающий коэффициент

Возможные площади развития лиманного орошения в Кулунде на местном стоке

Область, край	Геоморфологический район	Объем местного стока (млн. м³) постоянных водотоков (рек) ¹ при обеспеченности (%)		Площадь лиманов при стоке обеспеченностью (%)	
		25	50	25	50
Алтайский край	Приобское плато	398	168	132	56
	Центральная Кулунда	—	—	—	—
Новосибирская область	Северная Кулунда	320	129	107	43
Павлодарская область	Прииртышская пониженная равнина	—	—	—	—
	Павлодарское плато	—	—	—	—
Итого		718	297	239	99

Область, край	Геоморфологический район	Объем стока (млн. м³) со склонов малых водосборов ² при обеспеченности (%)		Потенциально возможная площадь (тыс. га) лиманного орошения на склоновом стоке при обеспеченности %	
		25	50	25	50
Алтайский край	Приобское плато	328	166	131	67
	Центральная Кулунда	82	33	34	13
Новосибирская область	Северная Кулунда	433	203	173	81
Павлодарская область	Прииртышская пониженная равнина	72	29	29	12
	Павлодарское плато	45	18	19	8
Итого		960	449	386	181

Примечания. ¹ — рассчитано по данным табл. 21 (за вычетом стока 75%-ной обеспеченности); ² — по данным табл. 23.

0,85. За расчетную площадь при определении объема стока малых водосборов принята площадь 100 км². Ориентировочно объем весеннего стока с малых водосборов и со склонов, используемый для лиманного орошения, может быть определен из соотношения

$$V_1 = 0,85 V_2 (k - 1),$$

где V_1 — объем стока с малых водосборов и со склонов (площадью менее 1 тыс. км²), V_2 — объем стока со сравнительно крупных водосборов (площадью более 3 тыс. км²), k — переходный коэффи-

циент от слоя стока постоянных водотоков (рек) к слою стока малых (временных) водотоков.

Пользуясь другой методикой расчета, для равнинной части Алтайского края (Кулундинская и Алейская степи), для южных районов Новосибирской области и для Павлодарской области КазССР Н. Н. Островная [168] определила возможную площадь лиманного орошения¹:

Обеспеченность (%)	Площадь (га)		
	Кулундинская и Алейская степи	Новосибирская область	Павлодарская область КазССР
25	765	506	511
50	468	297	193

Выводы

1. Основная масса снега (63—66%) аккумулируется в нижней и средней части склонов. Эта часть водосборов наиболее эффективно используется для создания лиманов.

2. Поверхностный сток с малых водосборов формируется за счет склонового стока (62—75% суммарного). Значительно меньше (20—35% суммарного) приходится на долю руслового стока. Сток приводораздельных частей склонов не играет заметной роли в общем балансе поверхностного стока, причем в маловодные годы он может практически отсутствовать.

3. Просачивание снеговых вод в мелководных лиманах происходит в основном в мерзлую почву, водопроницаемость которой в шесть-восемь и более раз меньше. Почвы, увлажненные до полевой влагоемкости, в мерзлом состоянии водонепроницаемы. Водопроницаемость мерзлых среднесуглинистых почв (южных черноземов) восстанавливается при влажности ниже 60—65% НВ.

4. Склоновый сток определяется запасами воды в снежном покрове средней и нижней части 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 на поглощение мерзлой суглинистой почвой (южные выщелоченные черноземы) при оттаивании верхнего горизонта или при низкой ее влажности могут быть определены по формулам (26) и (27).

5. При проектировании пойменных и глубоководных лиманов следует ориентировочно принимать расчетную обеспеченность стока 50%, а при проектировании мелководных склоновых лиманов — 25%.

¹ По данным Ленгипроводхоза, площадь возможного лиманного орошения в Кулундинской степи составляет 150 тыс. га.

6. В Северной Кулунде (Купино, Баган, Карасук) среднюю оросительную норму для сенокосов и пастбищ можно принять 3000—3500 м³/га; для Приобского плато (Родио, Волчиха, Завьялово) — 2400—3000 м³/га; для Павлодарского плато (Павлодарская область КазССР) — 2200—2600 м³/га.

7. Площадь возможного лиманного орошения при расчете на сток 25%-ной обеспеченности составит около 600 тыс. га, а при расчете на сток 50%-ной обеспеченности — около 300 тыс. га, из них около 100 тыс. га пойменных лиманов. Перспективными районами лиманного орошения являются Приобское плато в Алтайском крае и Северная Кулунда в Новосибирской области.

ГЛАВА 5 АГРОГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ОРОШАЕМОГО ЗЕМЛЕДЕЛИЯ

Проектирование орошения в Кулундинской степи начато еще в 30-е годы текущего века. Так, в 1931—1932 гг. В. А. Мичков [141] составил схему, которую в 1934 г. уточнил Н. Я. Коряко. В этой схеме регулярное орошение Кулундинской степи рассматривалось на базе Каменской ГЭС на р. Оби. Общая площадь, рекомендуемая к орошению, составляла 2,1 млн. га. В 1947 г. Ф. С. Бояринцев предлагает использовать для орошения подземные воды (на площади около 2 млн. га). Динамические запасы подземных вод Кулунды он оценил в 5,3 км³/год.

Исследования последних лет [109] показали, что в Кулундинской степи для орошения могут быть использованы воды только нижнечетвертичного водоносного горизонта. Подземные воды третичных отложений практически не пригодны для орошения ввиду сильной их минерализации (более 3—5 г/л).

В 1953 г. в связи с составлением проектного задания Каменской ГЭС на р. Оби Ленгипроводхоз возобновил рассмотрение вопросов орошения Кулундинской степи на базе Каменского водохранилища. По этой схеме предполагалось оросить около 1,2 млн. га земель, из них водами р. Оби — 655 тыс. га и водами р. Иртыша — 435 тыс. га.

Вновь проблема орошаемого земледелия в Кулундинской степи возникла в 1964 г.

Биологическое обоснование возделывания основных сельскохозяйственных культур на орошаемых землях в условиях Кулундинской степи приведено в работах [214, 253].

В связи с проблемой регулярного орошения в Кулундинской степи основными вопросами агрогидрометеорологического обеспечения орошаемого земледелия, требующими научной разработки, являются следующие:

1. Современное состояние и перспективы регулярного орошения в Кулундинской степи.
2. Тепловой и водный баланс орошаемого поля.
3. Методы определения водопотребления основных сельскохозяйственных культур применительно к условиям Кулундинской степи.
4. Режим орошения сельскохозяйственных культур.
5. Способы орошения и техника полива.
6. Выявление требований сельского хозяйства Кулундинской степи к мелиорации с определением реально необходимых и

экономически обоснованных размеров орошения для отдельных этапов (1975, 1980 и 2000 гг.).

7. Комплексное гидромелиоративное районирование.

Применение недостаточно обоснованного режима орошения без учета динамики водного баланса зоны аэрации и гидрометеорологических факторов на почвах с плохой естественной дренированностью может привести к подъему грунтовых вод, а в некоторых случаях и к вторичному засолению. Следовательно, все мероприятия по регулированию водного режима сельскохозяйственных угодий должны осуществляться с учетом гидрометеорологических условий и влагообмена зоны аэрации. При этом за основу метода определения суммарного испарения (водопотребления) и режима орошения должно быть принято совместное решение уравнений водного и теплового балансов зоны аэрации с учетом особенностей растений в онтогенезе.

5.1 Использование поверхностных вод для орошения

Несмотря на засушливый климат Кулундинской степи, орошение здесь до настоящего времени не получило большого развития. В качестве источника орошения в Центральной Кулунде (в Алтайском крае) используются грунтовые и подземные воды, а в Новосибирской и Павлодарской областях — поверхностные (рис. 24).

По данным водохозяйственных организаций на 1 октября 1970 г., в Северной Кулунде, в Новосибирской области регулярное орошение проводится на площади около 2 тыс. га (с водозабором из пресных озер, р. Карасук и Обского водохранилища).

В Павлодарской области (правобережье р. Иртыша в пределах Кулундинской степи) на 1 октября 1970 г. имелось 8070 га земель с оросительной сетью, использовалось же под посев в 1970 г. 7621 га, т. е. около 95%. В Павлодарской области площадь орошаемых участков составляет в основном 5—400 га и только четыре участка имеют площадь свыше 400 га. Источником орошения на массивах в основном является р. Иртыш (подземные воды используются на площади 785 га). Инженерные оросительные системы, построенные в 1964—1969 гг. (в совхозах Черноярский, им. Мичурина, Павлодарский и Качирский), находятся в хорошем состоянии. Полив, как правило, производится с помощью дождевальных машин ДДН-70 и ДДА-100М.

Центральная Кулунда и Прииртышская пониженная равнина характеризуются сравнительно тяжелыми гидрогеологическими и почвенномелиоративными условиями и поэтому необходимо, чтобы «большому» орошению здесь предшествовало максимальное развитие орошения на местном стоке на мелких участках (малая ирригация). Это позволит накопить опыт по эксплуатации и освоению оросительных систем.

Кулундинская степь обладает значительными местными поверхностными водными ресурсами. Местный сток составляет не менее 1,5 млрд. м³ в средний по водности год (1962). Эта вода бесполезно стекает по логам и степным речкам в озера и займища, а затем испаряется, однако этой водой можно оросить десятки и сотни тысяч гектаров земли. Использование вод местного стока для регулярного орошения с помощью механического водоподъема из прудов, водоемов и пресных озер в первом приближении может быть принято по схеме, разработанной Алтайским филиалом Росгипроводхоза. По ней предусматривается регулярное орошение на местном стоке в Кулунде на площади около 20 тыс. га. Эта площадь находится за пределами зоны влияния самотечного орошения водами р. Оби. Однако кардинально проблема регулярного орошения Кулундинской степи на больших площадях может быть решена путем привлечения вод р. Оби.

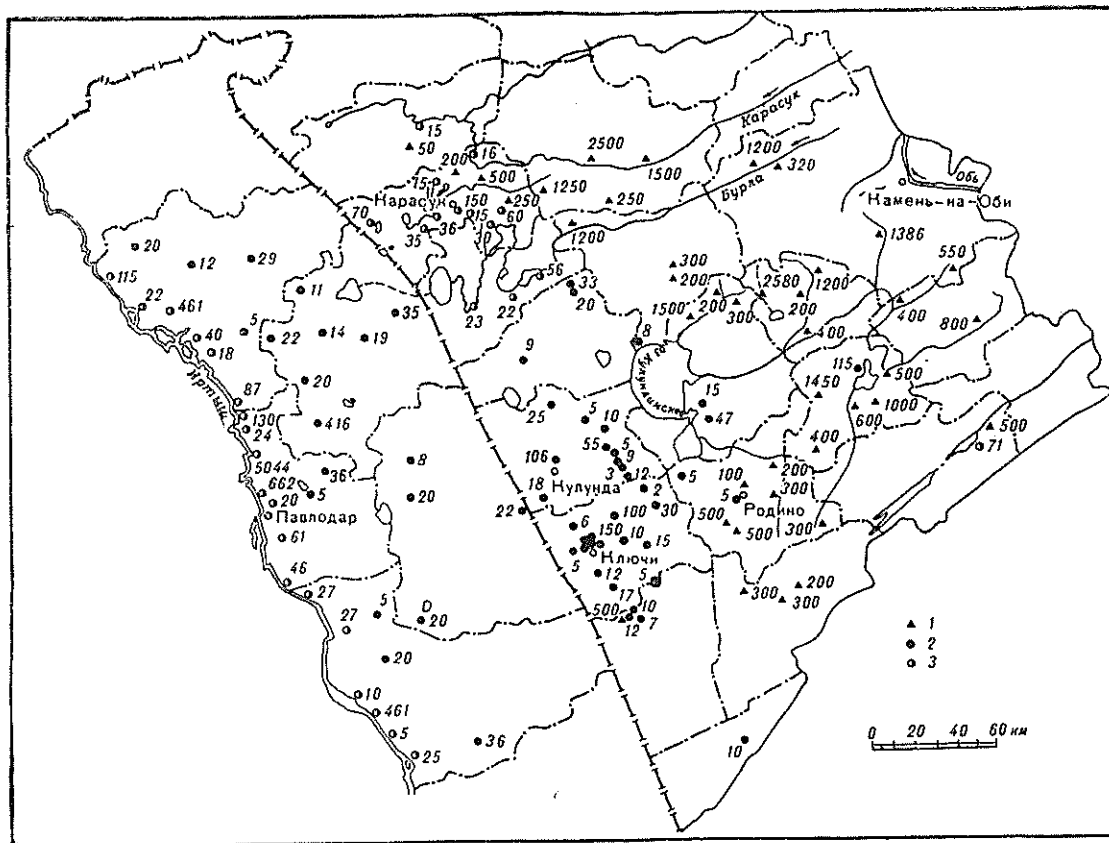


Рис. 24. Схематическая карта существующих орошаемых участков в Кулундинской степи (на 1 октября 1970 г.).

Системы: 1 — лиманного орошения, 2 — регулярного орошения подземными водами, 3 — регулярного орошения поверхностными водами. Цифры означают площадь орошения в гектарах.

На основании анализа почвенно-мелиоративных, гидрогеологических и рельефных условий выявлен ирригационный фонд, пригодный для регулярного орошения. В него включены земли трех мелиоративных групп: земли первой группы требуют минимальных мелиоративных мероприятий, а на тяжелых почвах—применение редкого дренажа (выборочно); земли второй группы нуждаются в проведении агротехнических мероприятий по борьбе с солонцеватостью, а на тяжелых почвах—в дренаже; на землях третьей группы требуется борьба с засолением путем промывок и дренажа.

По схеме ТЭД (рис. 25, табл. 54) намечено построить семь оросительных систем, забирающих воду из р. Оби, для регулярного орошения на площади свыше 2 млн. га (максимальный вариант с водозабором 8 км³); мелкие оросительные системы на базе подземных вод на площади около 70 тыс. га и местного стока—на площади около 50 тыс. га. Кроме того, по схеме Ленгипроводхоза намечено строительство пяти оросительных систем (с площадью орошения около 100 тыс. га) в Павлодарской области, забирающих воду из р. Иртыша (первая очередь) и затем переключаемые на обскую воду (после ввода в строй канала Иртыш—Караганда).

Таблица 54

Размеры ирригационного фонда для регулярного орошения Кулундинской степи при трех вариантах водозабора из р. Оби (по данным Ленгипроводхоза, 1965 г.)

Оросительная система	Суммарный объем воды при разных вариантах водозабора						
	8 км ³		4 км ³		2 км ³		
	площадь нет- то (тыс. га)	забор воды за период веге- тации (млн. м ³)	площадь нет- то (тыс. га)	забор воды за период веге- тации (млн. м ³)	площадь нет- то (тыс. га)	забор воды за период веге- тации (млн. м ³)	полив дож- деванием (%)
Чеминская . . .	15	37,8	15	37,8	15	37,8	80
Ирменская . . .	45	113,4	45	113,4	45	113,4	80
Ордынская . . .	196	599,8	196	599,8	196	599,8	50
Каменская . . .	280	756,0	280	756,0	140	378,0	50
Кулундинская . .	1319	4860,0	580	2140,2	—	—	50
Шелаболихинская	122	292,8	122	292,8	122	292,8	100
Барнаульская . .	96	230,4	96	230,4	96	230,4	100
Система р. Ирты- ша	100	288,0	—	—	—	—	100
Всего	2173	7178,2	1334	4170,4	614	1652,2	—

Водозабор более крупной Кулундинской оросительной системы с площадью орошения свыше 1,3 млн. га рассматривается в двух вариантах: с устройством Каменского водохранилища, при котором проектируется Каменская ГЭС, и с подачей воды специальной насосной станцией без устройства Каменского водохранилища, так как последнее вызовет затопление больших площадей плодородных пойменных земель. Во втором случае регулирование стока на-

мечается осуществить гидроузлами, расположенными на левом притоке р. Оби — р. Катунь (выше г. Барнаула). Следовательно, ТЭД рассматривает проблему орошения Кулунды как воднохозяйственную, а не как энергетическую. Поэтому рассматривается вариант забора воды на орошение без Каменской ГЭС.

Характеристика оросительных систем и последовательность освоения ирригационного фонда на данной стадии разработки схемы орошения Кулундинской степи представляется кратко в следующем виде.

В первую очередь вводятся оросительные системы на базе использования грунтовых и подземных вод, местного стока (лиманное орошение и регулярное орошение из мелких рек и озер) и небольшая Чеминская система с забором воды из р. Оби (Новосибирского водохранилища).

Во вторую очередь намечается осуществить отдельные оросительные системы с питанием из р. Оби и ряд оросительных систем Павлодарской области с водозабором из р. Иртыша (механический водоподъем).

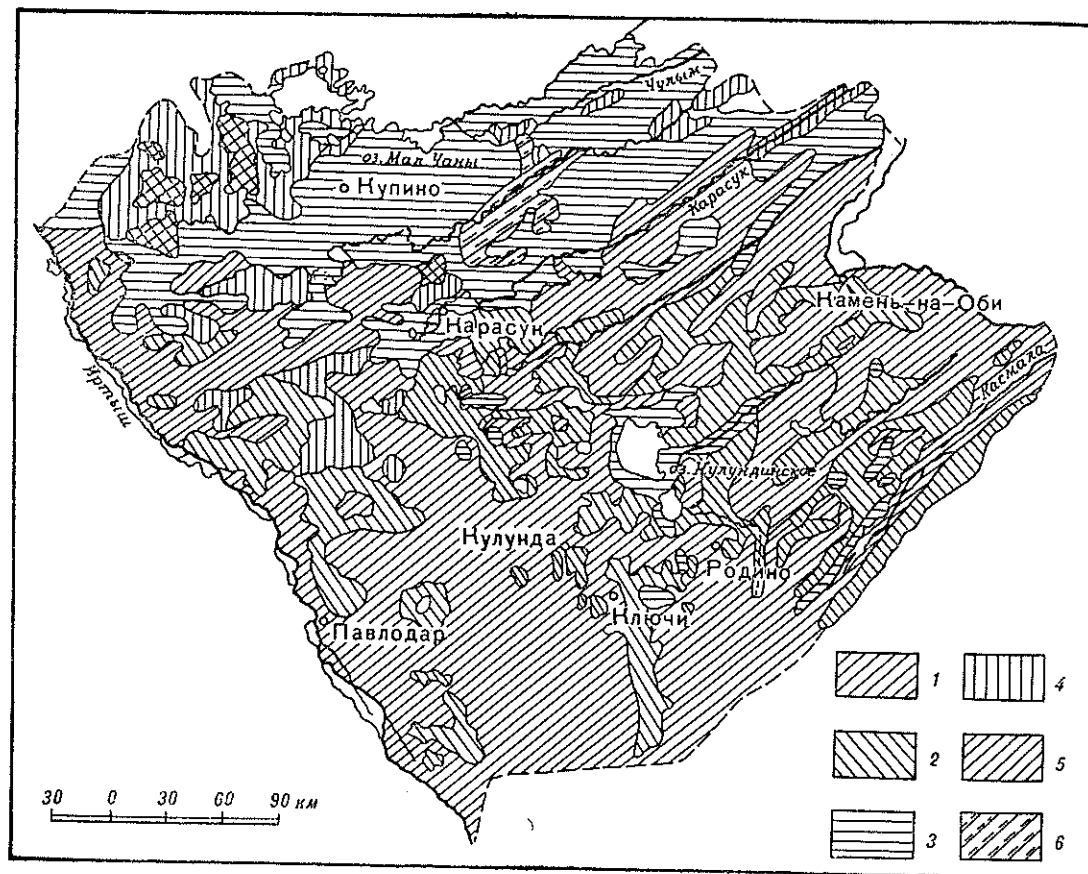
В третью очередь предполагается закончить строительство основных магистралей Кулундинской оросительной системы и наконец в четвертую очередь — закончить строительство ветвей Кулундинской системы, что позволит переключить оросительные системы правобережья Иртыша в Павлодарской области на обскую воду.

Государственная экспертная комиссия Госплана СССР в декабре 1967 г. одобрила основные положения ТЭДа по орошению Кулунды. В постановлении этой комиссии рекомендуется до строительства крупных ирригационных систем в двух-трех характерных точках Кулунды построить опытно-производственные орошаемые (с забором воды из Оби) участки площадью до 10 тыс. га каждый и организовать на них опытно-мелиоративные станции (ОМС). На ОМС предполагается продолжать исследования режима орошения, эффективности горизонтального и вертикального дренажа и других проблем, связанных с освоением Кулундинской степи, а также продолжать мероприятия по борьбе с солонцеватостью почв.

В 1970 г. Ленгипроводхоз закончил составление проектного задания и приступил к составлению рабочих чертежей 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. Подвод воды к этим орошаемым массивам предполагается осуществить из Оби специальным каналом, идущим по трассе магистрального канала Кулундинской оросительной системы. Строительство опытно-производственных орошаемых участков будет закончено в девятой пятилетке. Что же касается изучения вопросов орошаемого земледелия в Павлодарской области (светло-каштановые супесчаные почвы), то оно уже начато на инженерной черноярской оросительной системе (5044 га), забирающей воду из р. Иртыша.

Рис. 26. Схематическая карта минерализации грунтовых вод Кулундинской степи (составлена по материалам Западно-Сибирского геологического управления и Павлодарской гидрогеологической экспедиции).

Преобладающая минерализация (г/л): 1) >1 , 2) <3 , 3) $3-10$, 4) $10-50$, 5) >50 , 6) воды пестрой минерализации.



5.2. Использование подземных вод для орошения

Значительные ресурсы подземных вод в Центральной Кулунде (по нашим подсчетам, около 0,6 млрд. м³) для обводнения и орошения земель предполагается использовать в будущем путем сооружения трубчатых колодцев.

В Алтайском крае до 1930 г. насчитывалось 50 трубчатых колодцев. С 1930 по 1952 г. в степных и лесостепных районах края было построено 1944 трубчатых колодца, из них 379 с гравийно-проволочными фильтрами.

Нередко о малодобитности подземных вод судят по дебиту имеющегося трубчатого колодца. Надо иметь в виду, что до недавнего времени колодцы оборудовались фильтрами старых конструкций. За последние годы стали широко применяться колодцы с гравийными фильтрами. Эти колодцы имеют более продолжительный срок службы — 20—30 лет вместо 10—15 лет для колодцев с металлческими фильтрами.

С 1937 г. развернулось строительство мелких орошаемых участков в Кулунде на базе использования грунтовых и подземных вод, но перед началом Великой Отечественной войны это строительство было прекращено и вновь возобновлено с 1946—1947 гг. Для обеспечения орошаемых участков водой было построено свыше 50 трубчатых колодцев с гравийно-проволочными фильтрами. В те же годы в районах расположения трубчатых колодцев была построена оросительная сеть, произведена строительная планировка участков и выполнены другие работы.

В 1968—1969 гг. Алтайской комплексной экспедицией МГУ под руководством и при участии автора¹ 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.

Успешное развитие орошаемого земледелия в Центральной Кулунде при использовании подземных вод и современной дождевальной техники может быть лишь в том случае, если при каждом орошаемом участке будут построены наземные водоемы-аккумуляторы.

По предложению автора в хозяйствах Центральной Кулунды уже построено свыше 100 наземных водоемов-аккумуляторов.

Сибгипросельхозстрой составил проект орошения подземными водами земельного участка площадью 400 га (совхоз Ключевский Алтайского края). Проект позволяет испытать все имеющиеся способы орошения. В настоящее время уже построена I-я очередь орошения на площади 100 га. В проекте также предусматривается устройство водоемов для аккумулялирования подземных вод.

Большинство орошаемых участков, имеющих трубчатые колодцы, как правило, полностью еще не освоены. Это объясняется многими причинами: чрезмерно малыми уклонами поверхности земли, при которых снижается эффективность поверхностных поливов, сильной минерализацией грунтовых вод на значительных площадях, критической глубиной залегания грунтовых вод на некоторых участках (рис. 26, 27).

Из условий, затрудняющих развитие регулярного орошения в центральной части Кулундинской степи, следует также отметить низкую производительность труда поливальщиков при малых уклонах поверхности земли и примитивной техники поверхностного полива. С переходом на современные способы дождевания все эти трудности легко устраняются.

Как отмечалось в третьей главе, в Центральной Кулунде при использовании подземных вод нижнечетвертичных водоносных горизонтов можно оросить площадь около 100 тыс. га. При этом одной скважиной обеспечивается орошение участков площадью от 10 до 50 га. В настоящее время в Кулундинской степи регулярное орошение с использованием подземных вод осуществлено на площади около 2 тыс. га (в Павлодарской области — 765 га, в Центральной Кулунде — 1235 га).

¹ Аналогичные обследования части орошаемых участков Кулундинской степи были проведены автором в августе—октябре 1963 г. [152].

5.3. Тепловой баланс орошаемого поля

Исследования теплового баланса сельскохозяйственных полей имеют важное значение для решения задач агротехники и физиологии растений, для разработки методов воздействия на микроклимат полей [250]. Необходимость учета составляющих теплового баланса орошаемых полей совершенно очевидна при определении общего потребления воды растениями, в расчетах поливных и оросительных норм [242].

Влияние орошения на тепловой режим почвы и приземного слоя воздуха существенно различно в зависимости от физико-географических, почвенных и климатических условий, от способа орошения, от характера растительности и т. д. Рациональное орошение в зоне неустойчивого увлажнения возможно только при учете всех этих факторов. Изучение теплового баланса поля способствует успешному определению и водного баланса, так как испарение — важнейший компонент уравнений как теплового, так и водного баланса.

Оценка влагообеспеченности растений методом теплового баланса. В 1963—1965 гг. Институт гидродинамики Сибирского отделения АН СССР и Агрофизический институт проводили систематические исследования по определению составляющих теплового

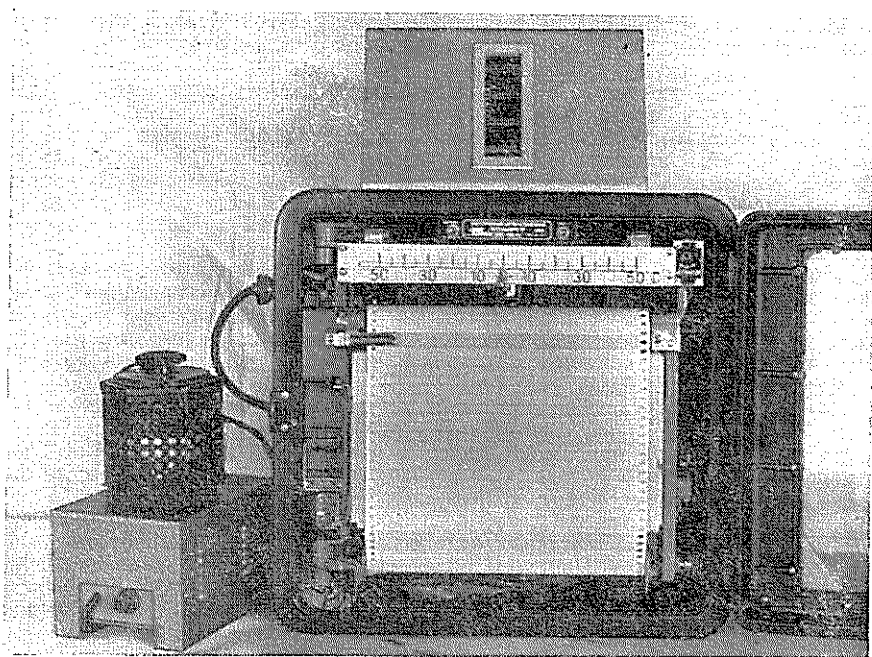


Рис. 28. Автоматический электронный прибор для определения суммарного испарения с орошаемого поля (тепlobалансограф).

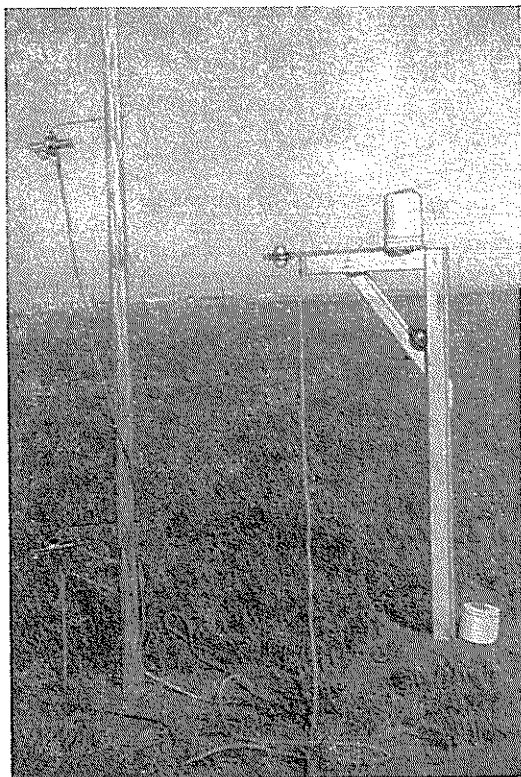


Рис. 29. Датчики теплобалансографа на орошаемом поле яровой пшеницы (1964 г.).

баланса центральной части Кулундинской степи¹. Основной задачей исследований было определение количественных соотношений некоторых теплобалансовых и воднобалансовых характеристик орошаемого и неорошаемого полей пшеницы и оценка водных запасов и водопотребления сельскохозяйственного поля.

Измерения проводились с помощью теплобалансографа, сконструированного в АФИ Ю. Л. Розенштоком (рис. 28). Теплобалансограф, представляющий собой электронное вычислительное устройство, автоматически определяет как величины составляющих теплового баланса (радиационный баланс, суммарное испарение, турбулентный поток тепла и тепловой поток в почву), так и другие важные метеорологические элементы, например, разности температуры и влажности воздуха на высотах 0,5 и 2,0 м, коэффици-

¹ В работе, кроме автора, принимали участие М. Г. Саноян, Л. П. Бобин и Н. П. Туранов.

ент турбулентного обмена. Устройство моделирует известные уравнения теплового баланса.

$$K = \frac{0,38 (R - B)}{\Delta e + 0,64 \Delta t}, \quad (30)$$

$$LE = \frac{(R - B) \Delta e}{\Delta e + 0,64 \Delta t}, \quad (31)$$

$$P = \frac{(R - B) 0,64 \Delta t}{\Delta e + 0,64 \Delta t}. \quad (32)$$

Здесь R — радиационный баланс подстилающей поверхности [кал/(см² · мин)]; LE — затраты тепла на испарение [L — удельная теплота испарения воды, кал/(см² · мин)]; P — турбулентный поток тепла [кал/(см² · мин)]; B — теплообмен подстилающей поверхности с нижележащими слоями [кал/(см² · мин)]; K — коэффициент турбулентного теплообмена (м²/с); Δt — перепад температуры воздуха (°C); Δe — перепад влажности воздуха (мб).

Прибор имеет устройство, интегрирующее по времени значения компонентов теплового баланса. Входные величины измеряются датчиками, которые автоматически осуществляют линейное электрическое преобразование измеряемых величин: радиационного баланса, потока тепла в почву, градиентов температуры и влажности воздуха (рис. 29). Датчики приборов были установлены на расстоянии 60 м от полевого вагончика, где были помещены регулирующие части двух теплобалансографов (рис. 30). Радиационный баланс измеряется радиационным балансометром термоэлектрического типа. Измерение Δe и Δt производилось с помощью электрических психрометров, размещенных на уровнях 0,5 и 2,0 м над поверхностью почвы. В качестве чувствительных элементов датчика применялись полупроводниковые термосопротивления, включенные в дифференциальную мостовую схему. Поток тепла в почву измерялся термоэлектрическим тепломером.

Исследования велись на орошаемом и неорошаемом полях яровой пшеницы (Саратовская 29) площадью 48 га на Кулундинской опытной станции. Поля были удалены друг от друга на расстоянии 50 м. Поскольку неорошаемый участок располагался на южной стороне, а преобладающее направление ветров было южное, то с достаточной точностью исключалось влияние орошения на микроклимат неорошаемого участка. Как отмечает С. И. Смирнова [213], зона действия полива обычно занимает пространство до 20—25 м от края поливного участка в сторону перемещения масс воздуха.

Рядом с датчиками АФИ были установлены обычные актинометрические приборы (пиранометр, балансометр Янишевского, альбедометр) и приборы градиентных наблюдений (аспирационные психрометры Ассмана).¹ Параллельно с теплобалансовыми изме-

¹ Исследования составляющих теплового баланса орошаемого поля с помощью актинометрических приборов вел экспедиционный отряд кафедры физической географии Новосибирского педагогического института (руководитель А. П. Сладнев).

рениями проводились почвенно-гидрологические исследования динамики почвенной влаги и водно-физических свойств почвы всей зоны аэрации, т. е. до уровня грунтовых вод. Наблюдения проводились в стандартные сроки, восемь раз в сутки, а при ясной погоде приборы работали непрерывно для получения суточного хода элементов теплового баланса.

Как известно, 1964 г. отличался большим количеством осадков и меньшей повторяемостью ветров по сравнению с острожасушливым 1963 г. (в 1963 г. за период вегетации пшеницы выпало 51,6 мм осадков, а в 1964 г. — 120,6 мм, причем за период с 25 апреля по

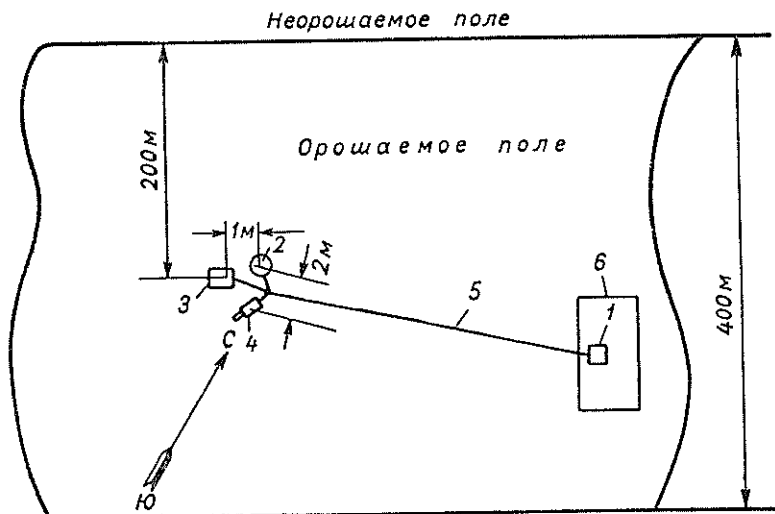


Рис. 30. План опытного поля.

1 — теплобалансограф; 2 — балансомер АФИ, 3 — термомер, 4 — психрометры, 5 — кабель коммутации, 6 — полевой вагон.

25 июля 1963 г. осадков выпало всего лишь 5 мм). Таким образом, погодные условия в 1964 г. были благоприятными для получения сравнительно хороших урожаев на неорошаемых участках.

Систематические наблюдения на двух участках были начаты 25 мая, когда пшеница находилась в фазе всходов (посев 18 мая), и продолжались до уборки пшеницы, т. е. на орошаемом участке — до 10 августа, а на неорошаемом — до 5 августа. Фазы вегетации неорошаемой пшеницы (выход в трубку, цветение, восковая и полная спелость) наступили раньше на 7—10 дней.

На рис. 31 и 32 показан ход элементов теплового баланса неорошаемого и орошаемого полей яровой пшеницы. На рисунках видно, что затраты тепла на испарение значительно меняются в зависимости от количества осадков и поливных норм и в меньшей степени — от солнечного тепла за рассматриваемый интервал времени. В дождливые дни количество поступающего солнечного

тепла уменьшается, однако после дождя суммарное испарение увеличивается. Тем не менее в условиях одинакового увлажнения почвы интенсивность испарения зависит главным образом от ме-

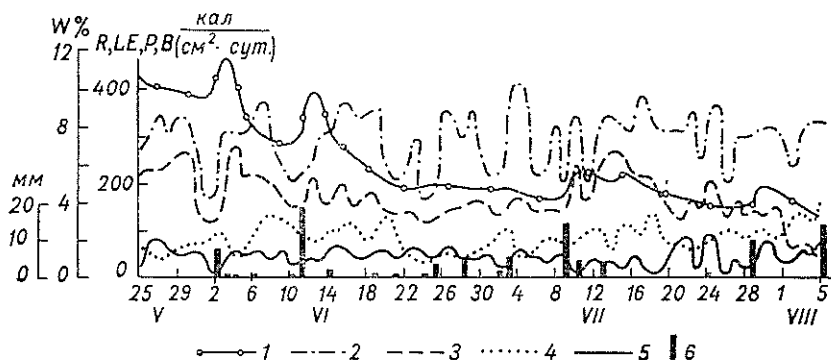


Рис. 31. Изменение составляющих теплового баланса и влажности корнеобитаемой зоны почвы неорошаемого поля пшеницы (1964 г.).

1 — влажность почвы W , 2 — рациональный баланс подстилающей поверхности R , 3 — затраты тепла на испарение LE , 4 — турбулентный поток тепла P , 5 — теплообмен подстилающей поверхности с нижележащими слоями B , 6 — количество осадков (мм).

теорологических условий, в частности, от величины радиационного баланса. Суммарное испарение неорошаемого поля в первую очередь определяется влагозапасами почвы, связанными с количест-

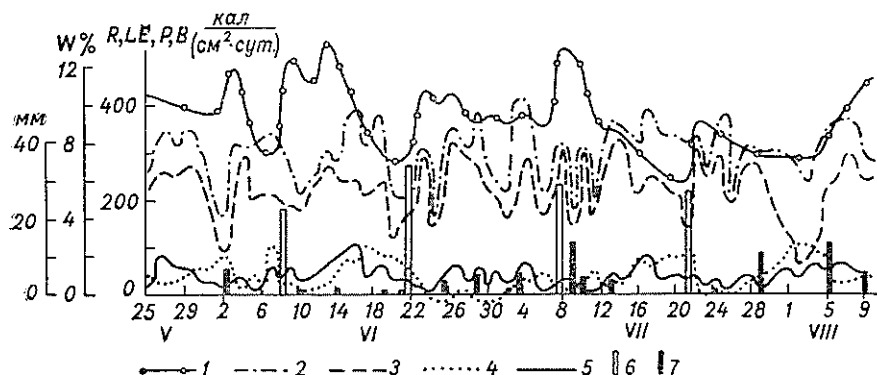


Рис. 32. Изменение составляющих теплового баланса и влажности почвы орошаемого поля пшеницы (1964 г.).

1 — влажность почвы W ; 2 — рациональный баланс подстилающей поверхности R ; 3 — затраты тепла на испарение LE , 4 — турбулентный поток тепла P , 5 — теплообмен подстилающей поверхности с нижележащими слоями B , 6 — поливы (мм), 7 — количество осадков (мм).

вом осадков за вегетационный период (рис. 31). Влажность почвы (через каждые 10 см) определялась весовым способом.

Полив значительно влияет на ход элементов теплового баланса. Увеличение затрат тепла на испарение после полива приводит

к уменьшению турбулентной теплоотдачи (рис. 32). При достаточном увлажнении почвы турбулентная теплоотдача настолько уменьшается, что иногда при возникновении дневных температурных инверсий достигает отрицательных значений. При этом приток тепла от подстилающей поверхности уменьшается примерно в три раза [196]. Вследствие уменьшения альбедо и эффективного излучения почвы после полива несколько увеличивается радиационный баланс. Сравнительно малое изменение радиационного баланса объясняется тем, что почва была покрыта растительностью, а для почв с растительным покровом величины радиационного баланса и его максимум меньше, чем для оголенной почвы, из-за увеличенных значений эффективного излучения и альбедо. Таким образом, полив в условиях степи значительно уменьшает общий поток тепла от подстилающей поверхности в атмосферу за счет турбулентного потока и потока тепла, переносимого длинноволновым излучением.

Величина составляющих теплового баланса не зависит от фазы развития пшеницы. Следовательно, суммарное испарение определяется только метеорологическими условиями и влажностью почвы при поливах.

В табл. 55 приведены средние значения компонентов теплового баланса за период вегетации яровой пшеницы в 1964 г. Из таблицы видно, что составляющие теплового баланса для орошаемого и неорошаемого полей имеют резко выраженный суточный ход с максимумом в полуденные часы и минимумом ночью и утром. На орошаемом участке затраты тепла на испарение составляли 71% поступающего солнечного тепла ($24,5 \text{ ккал/см}^2$), турбулентный поток тепла и поток тепла в почву были одинаковы ($14,5\%$). На неорошаемом участке на испарение расходовалось $56,6\%$,

Таблица 55

Средние за период наблюдений часовые суммы элементов теплового баланса
[кал/($\text{см}^2 \cdot \text{ч}$)] по данным серийных наблюдений (1964 г.)

Время суток	Орошаемое поле с 25/V по 10/VIII				Неорошаемое поле с 25/V по 5/VIII			
	R	LE	P	B	R	LE	P	B
0 ч 15 мин — 1 ч 15 мин	-4,8	2,4	-1,8	-0,6	-5,4	1,2	-2,4	-1,2
3 15—4 15	-3,0	1,2	-1,8	0,0	-3,0	0,6	-2,4	0,0
6 15—7 15	16,8	10,2	4,2	1,8	14,8	7,8	6,0	1,8
9 15—10 15	42,6	23,4	8,4	6,6	42,0	19,8	13,8	7,2
12 15—13 15	39,6	22,2	6,6	7,8	38,4	17,4	14,4	8,4
15 15—16 15	15,0	13,8	3,0	2,4	15,0	9,6	3,6	2,4
18 15—19 15	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
21 15—22 15	-4,2	1,8	-1,2	-1,2	-4,8	1,2	-2,4	-1,8
Суточная сумма [кал/($\text{см}^2 \cdot \text{сут}$)]	310	220	45	45	300	170	80	50
Суммарная величина (ккал/см^2)	24,50	17,38	3,58	3,55	21,90	12,40	5,84	3,65

турбулентный поток и поток тепла в почву составляли соответственно 26,7 и 16,7% всего поступающего тепла (21,9 ккал/см²).

На орошаемом участке в 1964 г. урожай яровой пшеницы составил 30 ц/га, а на неорошаемом — 12 ц/га. Сравнительно высокий урожай на неорошаемом поле был обусловлен достаточной обеспеченностью влагой и теплом (в 1963 г. урожай пшеницы на богаре составил всего 2 ц/га).

Испарение — важнейший критерий оценки урожая — определяется взаимодействием внешних и внутренних факторов развития

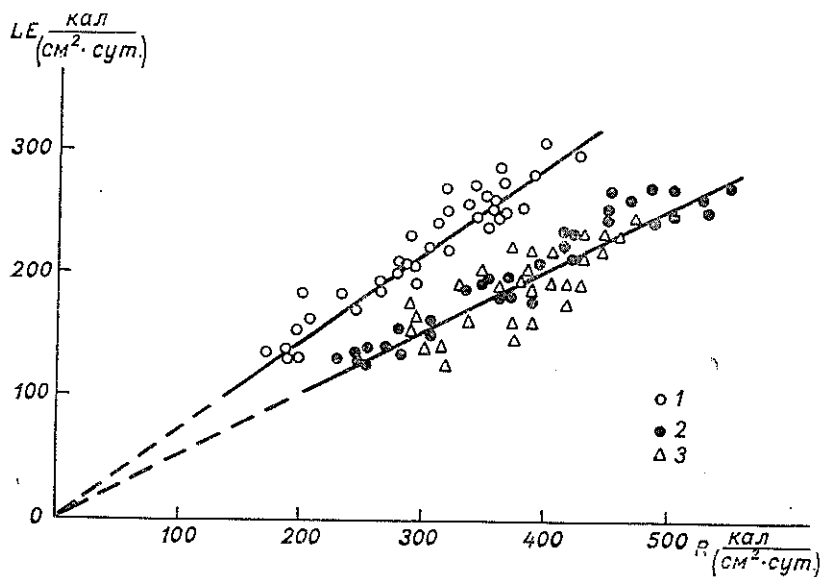


Рис. 33. Зависимость между суточными величинами затрат тепла на испарение и радиационным балансом.

1 — орошаемое поле (1964 г.), 2 — неорошаемое поле (1964 г.), 3 — орошаемое поле (1963 г.).

растений. Характер суточного хода испарения с почвы зависит от суммарной радиации, а максимум интенсивности испарения — от влажности почвы (рис. 33). Корреляционные графики, построенные по данным 1963 и 1964 г., совпадают. Тангенс угла наклона первой линии к оси R составляет 0,71, а второй — 0,56. Следовательно, на испарение в среднем расходовалось больше половины всего поступающего на поле тепла. Остальное тепло пошло на нагревание почвы и приземного слоя воздуха. Однако суммарное испарение в отдельные дни отклонялось от среднего значения — сказались влияние как увлажнения почвы, так и метеорологических условий.

Таким образом, зная коэффициент связи между E и R для данной культуры, можно определить суммарное испарение с сельскохозяйственного поля, пользуясь при этом долгосрочными прогно-

зами погоды или данными о годовом ходе радиационного баланса [25, 36, 61, 195].

В табл. 56 приведены средние часовые значения всех элементов, полученных с помощью теплобалансографа за период 20 июня — 26 июля 1963 г.

Полученные экспериментальные данные позволяют рассчитать гидрометеорологическую эффективность мелиоративных мероприятий и оценить влагообеспеченность растений.

Изучение суммарного испарения с сельскохозяйственных полей необходимо для оценки существующих и для разработки новых агротехнических приемов, направленных на сбережение запасов почвенной влаги. Расход воды на суммарное испарение важнейшая составная часть поливных и оросительных норм. Решение этих задач возможно лишь при совместном изучении теплового и водного балансов орошаемого поля.

При известных водно-физических свойствах почво-грунтов, глубине и режиме грунтовых вод тепловой баланс является серьезной основой проектирования режимов орошения сельскохозяйственных культур, а также корректирования их при практическом осуществлении поливов. Тепловой баланс — один из основных факторов регулирования производственного процесса в растениеводстве. Поэтому уже сейчас на ряде метеостанций степной зоны необходимо создать такие условия, чтобы они могли обеспечить сельскохозяйственные органы систематической информацией о ходе элементов теплового и водного баланса.

Зависимость между составляющими теплового баланса и влажностью почвы. В настоящее время большое практическое значение имеют вопросы разработки методов регулирования водного режима почвы с целью экономного использования поливной воды и получения максимального урожая при минимальных затратах воды. Однако при решении этих задач возникают большие трудности, вызванные отсутствием надежных способов определения влажности почвы.

Знание этой величины, ее динамики необходимо для установления оптимальных режимов орошения [154].

Электрические, радиоактивные и другие методы прямого измерения влажности почвы громоздки и недостаточно точны. В практике агрометеорологического обслуживания некоторое распространение получили косвенные методы расчета запасов продуктивной почвенной влаги, основанные на эмпирических и полуэмпирических связях гидрометеорологических характеристик с влажностью почвы. В последние годы в связи с успешными разработками метода теплового баланса подстилающей поверхности, а также с исследованиями физических закономерностей формирования засухи появилась возможность установить механизм взаимодействия тепла и влаги в условиях засухи.

Из многочисленных экспериментальных данных известно, что при достаточном увлажнении между суммарным испарением E ,

Средние значения компонентов теплового баланса и перепадов температуры и влажности воздуха

Элемент	Часы											
	0—1	1—2	2—3	3—4	4—5	5—6	6—7	7—8	8—9	9—10	10—11	11—12
R кал/(см ² ·ч)	—5,4	—5,4	—6,0	—5,4	—5,4	—4,2	—1,2	9,0	21,0	28,8	36,0	48,0
LE кал/(см ² ·ч)	0,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,6	5,4	12,0	14,4	15,6	19,8
E мм/ч	0,01	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,01	0,09	0,20	0,24	0,26	0,33
P кал/(см ² ·ч)	—1,2	—1,2	—1,8	—1,8	—0,6	—0,6	0,0	4,2	6,6	10,0	15,0	19,8
B кал/(см ² ·ч)	—2,4	—3,0	—3,6	—3,6	—3,6	—3,6	—1,2	—0,6	2,4	3,6	5,4	7,8
K м ² /с	0,02	0,11	0,14	0,09	0,14	0,10	0,19	0,18	0,22	0,26	0,24	0,30
Δe мм	0,18	0,14	0,25	0,20	0,15	0,13	0,08	0,20	0,35	0,35	0,40	0,43
Δt °C	—0,40	—0,40	—0,45	—0,37	—0,30	—0,25	—0,10	0,27	0,38	0,52	0,78	0,86

Элемент	Часы											
	12—13	13—14	14—15	15—16	16—17	17—18	18—19	19—20	20—21	21—22	22—23	23—24
R кал/(см ² ·ч)	56,4	52,8	45,6	43,8	40,0	30,0	24,0	14,4	1,2	—4,8	—5,4	—5,4
LE кал/(см ² ·ч)	24,4	19,8	15,6	15,6	15,0	12,6	11,4	9,6	6,0	0,0	0,0	0,6
E мм/ч	0,39	0,33	0,26	0,26	0,25	0,21	0,19	0,16	0,01	0,0	0,0	0,01
P кал/(см ² ·ч)	24,6	25,2	20,4	19,2	16,8	12,6	8,4	3,6	0,0	0,0	—0,6	—1,2
B кал/(см ² ·ч)	7,8	8,4	9,6	9,0	7,8	5,4	4,2	1,8	0,0	—1,2	—1,8	—2,4
K м ² /с	0,32	0,34	0,29	0,31	0,30	0,25	0,24	0,21	0,14	0,09	0,04	0,01
Δe мм	0,46	0,37	0,34	0,32	0,32	0,31	0,30	0,28	0,20	0,18	0,15	0,13
Δt °C	0,97	0,91	0,88	0,78	0,73	0,62	0,45	0,20	0,0	—0,25	—0,30	—0,33

испаряемостью E_0^1 и продуктивной влажностью почвы W существует корреляционная зависимость.

В диапазоне от влажности устойчивого завядания $W_з$ до некоторой критической влажности W_k отношение E/E_0 находится в линейной зависимости от W , где W — активные влагозапасы почвы, равные разности средней влажности активного слоя почвы $W_{ср}$ и влажности завядания $W_з$. При более высоком значении влажности почвы ($W > W_k$) испарение определяется только метеорологическими условиями. При неизменных метеорологических условиях отношение E/E_0 постоянно [10].

Обозначив E/E_0 через β , можно записать:

$$\begin{aligned}\beta &= E/E_0 = aW \text{ при } W < W_k, \\ \beta &= \text{const при } W \geq W_k.\end{aligned}\quad (33)$$

где a — коэффициент пропорциональности. Из соотношения (33) следует, что при $E = E_0$ $aW = 1$. Влажность почвы, при которой отношение испарения к испаряемости равно единице, называется критической W_k . Следовательно, можно записать $a = 1/W_k$. Физический смысл этой величины заключается в том, что, когда влажность почвы больше или равна критической ($W \geq W_k$), выполняется

условие достаточного увлажнения и при этом $E = E_0$. С другой стороны, известно, что каждой сельскохозяйственной культуре в определенные фазы развития свойственна определенная влажность замедления роста $W_{з.р}$ [142]. Уменьшение влажности почвы ниже этой величины (нижнего порога влажности) отрицательно сказывается на росте и развитии растений и приводит к резкому снижению урожайности сельскохозяйственной культуры. Точка $\beta_{з.р}$, соответствующая величине $W_{з.р}$, находится на наклонном участке линейной зависимости $\beta = f(W)$ (рис. 34). Таким образом, для создания нормальных условий произрастания растений необходимо в процессе проведения ирригационных мероприятий поддерживать влажность почвы W в определенном диапазоне выше $W_{з.р}$. Так как, в соответствии с формулами (33), величина β вполне однозначно связана с W (при $W < W_k$), то выполнение условия $W \geq W_{з.р}$ эквивалентно соблюдению неравенства $\beta \geq \beta_{з.р}$, где $\beta_{з.р} = aW_{з.р}$ определяется из эксперимента. Для некоторых наиболее важных культур эта величина известна [195]. Отсюда следует, что величина

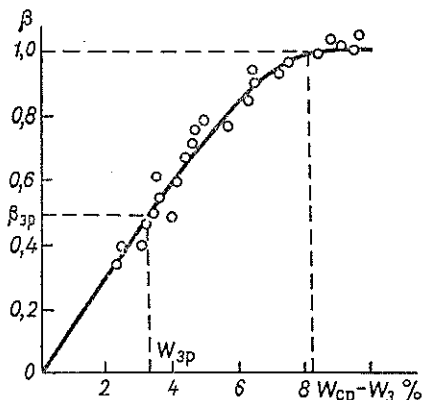


Рис. 34. Зависимость β от продуктивной влажности почвы (% НВ).

$E_0 = 0,5$ мм/ч.

¹ Под испаряемостью подразумевается максимально возможное испарение в данных метеорологических условиях при неограниченном доступе влаги к корнеобитаемому слою почвы.

гидрометеорологического показателя засухи β представляет большую ценность для практического земледелия, особенно в орошаемых районах, при решении вопросов регулирования водного режима почв и влагообеспеченности растений.

Однако до настоящего времени нет удовлетворительных методов измерения суммарного испарения с почвы, покрытой растительностью. Кроме того, обилие сочетаний характеристик почвы, воздуха и растения, определяющих испаряемость, осложняет разработку метода количественного учета этой величины. В связи с этим показатель β в существующей модификации вряд ли может быть использован в практике агрометеорологии. Метод же теплового баланса позволяет разработать более простой способ расчета для суммарного определения испарения.

Известно, что в районах орошения для поверхности почвы без растительности или сомкнутого растительного покрова при наличии достаточного количества влаги в корнеобитаемом слое ($W > W_{з.р}$) турбулентный поток тепла P значительно меньше основных членов теплового баланса: радиационного баланса R , затрат тепла на испарение LE и потока тепла в почву B . В этом случае разность радиационного баланса и потока тепла в почву с достаточной степенью точности определяется по испаряемости [35, 36, 135] E_0

$$E_0 = \frac{R - B}{L}, \quad (34)$$

т. е. испаряемость определяется по разности радиационного баланса R и потока тепла в почву B . Подставляя значение E_0 из уравнения (34) в уравнение (33) и учитывая условие замыкания составляющих теплового баланса, получаем

$$\beta = \frac{LE}{LE + P}. \quad (35)$$

Разделив числитель и знаменатель уравнения (35) на LE и используя при этом соотношение Боуэна [154], получим выражение для β в виде

$$\beta = \frac{\Delta e}{\Delta e + 0,64 \Delta t}. \quad (36)$$

Таким образом, для определения величины β необходимы лишь градиентные наблюдения за температурой и влажностью воздуха. С целью нахождения характера связи величин β с влажностью почвы были обработаны материалы полевых исследований, проводившихся в 1963—1965 гг. на орошаемом и неорошаемом полях яровой пшеницы. Во избежание случайных ошибок статистическая обработка выполнена по известной методике. По этим материалам для различных слоев почвы были построены функции $\beta = f(W)$, причем влагозапасы определялись как средневзвешенные величины. Наиболее удовлетворительные результаты получены для слоя почвы мощностью 0,5 м, в котором корневая система пшеницы

распределена достаточно равномерно. При построении функции $\beta = f(W)$ наблюдался большой разброс точек и значительные отклонения от линейной зависимости. Имелась лишь тенденция к росту величины β с увеличением активных запасов влаги в почве. Это обусловлено тем, что не была учтена испаряемость, характеризующая комплексное влияние метеорологических факторов на испарение. В связи с этим материал наблюдений разделили на отдельные группы с одинаковыми значениями E_0 и после приведения величин β и W к одинаковой испаряемости получили семейство кривых (за начало координат принята влажность устойчивого завядания W_z , равная 3,7% веса сухой почвы).

Результаты обработки материалов наблюдений приведены на рис. 35 [$W_{НВ} = 12,6\%$, β определены только за дневные сроки (7, 10, 13, 16 ч), в которые обеспечивается максимальная точность измерения суммарного испарения методом теплового баланса].

Как следует из графика, для определенных значений испаряемости (0,1; 0,5; 0,9 мм/ч) соотношение (33) качественно выполняется. Расхождения не превышают погрешности измерений.

Таким образом, критическая влажность почвы W_k , соответствующая оптимальному условию водного режима растений, не постоянна, а изменяется пропорционально величине испаряемости. Непостоянство критической влажности свидетельствует о том, что растения в течение дня испытывают недостаток во влаге в определенные периоды в зависимости от величины испаряемости E_0 . Следовательно, наши исследования подтвердили наличие корреляционной связи между метеорологическими элементами и влажностью почвы.

С ростом испаряемости наклон кривых к оси абсцисс уменьшается и точка, соответствующая критической влажности почвы, смещается в сторону ее больших значений. При влажности почвы $W \geq W_k$ $\beta = 1$. Это объясняется тем, что в условиях орошения почва обычно в течение значительной части вегетационного периода хорошо увлажнена и испарение приближается к испаряемости.

Для установления зависимости между критической влажностью почвы и испаряемостью использованы экспериментальные кривые, по которым построен график $W_k = \varphi(E_0)$, рис. 36. Как видно из

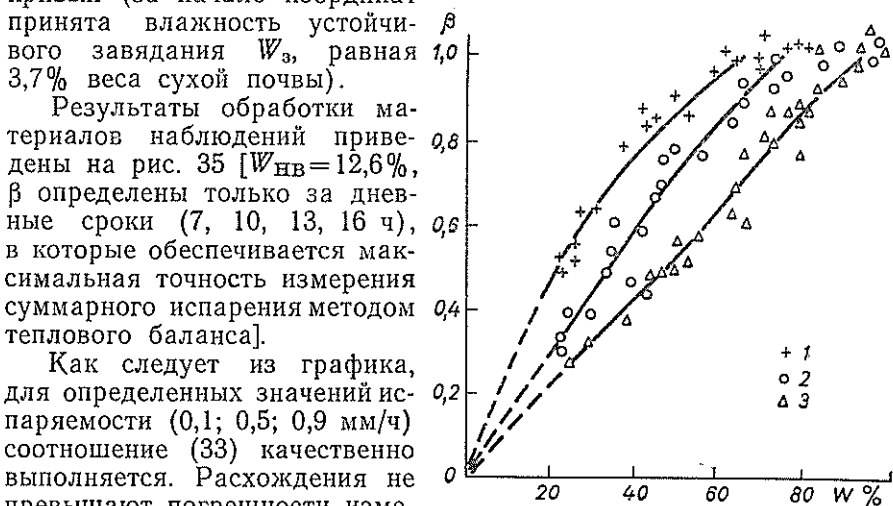


Рис. 35. Зависимость β от продуктивных влагозапасов (% НВ) полуметрового слоя почвы.

1) $E_0 = 0,1$ мм/ч, 2) $E_0 = 0,5$ мм/ч, 3) $E_0 = 0,9$ мм/ч.

рисунка, все точки группируются вокруг прямой, являющейся, по-видимому, единственной для исследуемого района и культуры. Таким образом, критическая влажность, характеризующая степень достаточного увлажнения почвы, не постоянна, а плавно изменяется в соответствии с изменением испаряемости. Это свидетельствует о том, что растения испытывают потребность в воде мгновенно в какие-то моменты в зависимости от величины радиационного баланса. Так как радиационный баланс — основной фактор, определяющий испаряемость, — изменяется в течение дня в достаточно широком диапазоне, то обеспечение растения оптимальным количеством влаги сводится к осуществлению мгновенных поливов и тем самым — к поддержанию величины β на уровне выше $\beta_{з.р.}$

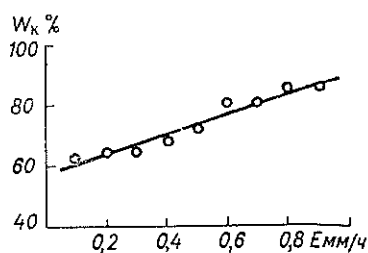


Рис. 36. Зависимость критической влажности (% НВ) от испаряемости (мм/ч).

Следовательно, используя показатель β , можно дать не только качественную характеристику гидрометеорологических условий засухи (увлажнения), но и количественную, что особенно важно при решении практических задач, например, для контроля за научно обоснованными сроками и нормами поливов, осуществление которого играло бы чрезвычайно важную роль в развитии поливного земледелия [197].

На характер зависимости $W_k = \varphi(E_0)$, очевидно, влияют, кроме водно-физических свойств почвы и вида растения, возраст и состояние культуры, глубина и густота корневой системы и т. д. Однако изучение этого вопроса применительно к различным культурам и фазам развития растений выходит за пределы настоящей работы. График рис. 36 можно представить в виде

$$W_k = b + cE_0, \quad (37)$$

где b и c — постоянные коэффициенты, зависящие от водно-физических свойств почвы и вида сельскохозяйственной культуры, Величины этих коэффициентов определяются экспериментально и для некоторых сельскохозяйственных культур известны [35, 101]. По методу наименьших квадратов [212] были найдены значения b и c для яровой пшеницы; они равны соответственно 0,57 и 0,33.

Рассмотрим, как изменяется продуктивная влажность почвы с изменением метеорологических условий (испаряемости), точнее, найдем ее связь с основными факторами, влияющими на нее. Каждому значению влажности почвы W соответствует, в зависимости от испаряемости, несколько значений β (см. рис. 35). Это можно выразить в виде

$$W = \xi_1 \beta_1 = \xi_2 \beta_2 = \xi_3 \beta_3 \dots$$

или

$$W = \xi \beta, \quad (38)$$

где угловые коэффициенты обратной функции ξ_1 , ξ_2 , ξ_3 и т. д. определяются из условия $W < W_k$, при котором $\xi_1 = W_{k_1}$, $\xi_2 = W_{k_2}$, $\xi_3 = W_{k_3}$, или в общем виде

$$\xi = \frac{1}{a} = W_k, \quad (39)$$

Подставляя значение ξ в формулу (38), с учетом значений W_k из формулы (37) получаем

$$W = \beta (b + cE_0), \quad (40)$$

а заменяя E и β их значениями из формул (34) и (36), получаем

$$W = \frac{\Delta e [b + c(R - B)]}{\Delta e + 0,64 \Delta t}. \quad (41)$$

Отсюда следует, что по данным актинометрических и градиентных наблюдений с помощью приведенной несложной формулы можно определить средние запасы продуктивной почвенной влаги. Сравнительные данные по средним влагозапасам почвы, полученные методом отбора почвенных проб и по формуле (41), сведены в корреляционном графике (рис. 37). Разброс экспериментальных точек при $W < W_k$ вызван, очевидно, тем, что для указанного интервала изменений W потери тепла на испарение ввиду недостаточного увлажнения поверхности почвы превышали разность радиационного баланса и потока тепла в почву. Частично разброс точек обусловлен тем, что полив опытного поля осуществлялся дальнеструйными дождевальными установками, вследствие чего неравномерное увлажнение почвы по слоям создавало дополнительные погрешности в определении влажности методом отбора проб.

Таким образом, изложенная методика расчета влажности почвы не менее точна, чем применяемый в орошаемом земледелии трудоемкий термовесовой метод. Важно отметить также возможность моделирования формулы (41) для автоматического определения W . Для этого необходимо непосредственно измерять величины Δe , Δt , R , B и производить вычисления в соответствии с выражением (41).

Комбинируя описанное устройство с автоматически действующими оросительными системами, можно оперативно анализировать

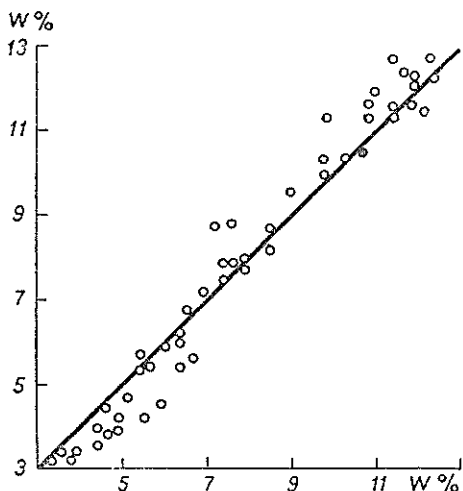


Рис. 37. Корреляционный график значений влажности почвы, полученных весовым методом (ось абсцисс) и по формуле 41 (ось ординат).

и регулировать влажность сельскохозяйственных полей с достаточной гибкостью и эффективностью. Применение такого устройства при проведении ирригационных мероприятий вполне достаточно для автоматического контроля за научно обоснованными сроками и нормами поливов.

Предлагаемый метод установления сроков полива по градиентам температуры и влажности воздуха выгодно отличается от всех косвенных методов тем, что позволяет простым способом оценить влагообеспеченность растений с достаточной для практики точностью [196]. Применяя для измерения перепада температур и влажности воздуха соответствующие датчики, включенные в электрические схемы, можно осуществлять оперативный контроль за влажностью почвы без измерения сложных параметров уравнения теплового баланса. Определение поливной нормы производится по величине суммарного испарения интегрированием после очередного полива до следующего срока, который определяется по градиенту температуры [197].

5.4. Водный баланс каштановых почв при поливе дождеванием

Изучение приходно-расходных элементов водного баланса необходимо для установления размера поливных и оросительных норм, потерь воды в оросительной сети и в процессе дождевания, а также влияния полива на климат приземного слоя воздуха.

Опыты по изучению водного баланса при дождевании проводились в 1963—1965 гг. в полевых условиях на территории Кулупдинской опытной станции (Ключевской район Алтайского края). Орошалась яровая пшеница сорта Саратовская 29 с помощью короткоструйной дождевальной установки КДУ-55М. Поливные нормы при этом составляли от 100 до 350 м³/га¹. Почвы на опытном участке представлены каштановыми супесчаными разностями.

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

$$W_{\text{н}} + M + X + W_{\text{в}} + K = T + E + E_1 + П + W_{\text{к}} + V + W_{\text{а}} + C, \quad (42)$$

где $W_{\text{н}}$ — запасы продуктивной влаги в метровом слое почвы в начале вегетации; X — сумма осадков за вегетационный период; M — оросительная норма; $W_{\text{в}}$ — 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 воды в нижележащие горизонты (ниже активного слоя); $W_{\text{к}}$ — запас продуктивной влаги в конце вегетации (остаточный запас); V — потеря воды в стыках трубопровода; $W_{\text{а}}$ — количество

¹ В 1963 г. по организационно-хозяйственным причинам поливную норму при дождевании не удалось превысить 100—150 м³/га.

воды, задержавшейся на вегетативных органах растений; C — поверхностный сток.

Составляющие уравнения водного баланса количественно и качественно весьма различны. Некоторые из них не поддаются точному учету вследствие неразработанности методики их определения, другие же, не составляя заметной величины в общем балансе активного слоя почвы, не представляют практического интереса.

В связи с тем что на орошаемом поле развиты легкие супесчаные почвы и местность почти не имела уклона, сток отсутствовал.

Запасы продуктивной влаги в активном слое почвы W_{II} весной (14 мая) 1963 г. составлял $239 \text{ м}^3/\text{га}$, в 1964 г. (21 мая) — $728 \text{ м}^3/\text{га}$, а в 1965 г. (19 мая) — $532 \text{ м}^3/\text{га}$.

Сумма эффективных осадков X за вегетационный период в засушливом 1963 г. составила $468 \text{ м}^3/\text{га}$, в опыте 1964 г. — $1206 \text{ м}^3/\text{га}$, а в острозасушливом 1965 г. — $140 \text{ м}^3/\text{га}$.

Оросительная норма M для зоны неустойчивого и 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 $W_{в}$ зависит в основном от уровня залегания грунтовых вод, т. е. от гидрогеологических условий участка. В опыте глубина залегания грунтовых вод составляла 220—230 см. Подпитывание из капиллярной каймы (вместе с конденсационной влагой) колебалось от $566 \text{ м}^3/\text{га}$ (1964 г.) до $1783 \text{ м}^3/\text{га}$ (1963 г.).

Конденсационная влага K измерялась в 1963 г. с помощью автоматических влагомеров-самописцев, установленных на глубине 0,5 и 1,0 м. После обработки ленты самописцев и тарировки их показаний удалось определить величину внутрипочвенной конденсации, которая колебалась в 50-сантиметровом слое почвы от 0,5 до 1,0 мм/сут.

Суммарное испарение $T+E$ проверялось методом водного баланса в активном слое почвы (табл. 57). Из данных таблицы 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 запасы продуктивной влаги в метровом слое почвы оставались неиспользованными за весь период исследований.

Суммарное испарение по годам на неорошаемом поле зависит от количества осадков вегетационного периода и запасов продуктивной влаги в активном слое почвы в начале вегетации. Следует отметить, что в засушливые 1963 и 1965 гг. на орошаемом поле яровой пшеницы подпитывание из нижележащих горизонтов (капиллярной каймы) и конденсация составляли 48—65%, а в средний по влажности 1964 г. подпитывание из более глубоких горизонтов на орошаемом поле составляло около 13% (табл. 58). Это

Изменение запасов влаги за вегетационный период (м³/га) на неорошаемом (контроль) и орошаемом полях яровой пшеницы в Центральной Кулунде

Слой почвы (см)	Запасы влаги на неорошаемом поле			Запасы влаги на орошаемом поле (нижний порог влажности в пределах 65—70% НВ)		
	в начале вегетации	в конце вегетации	разность	в начале вегетации	в конце вегетации	разность
1963 г.						
0—50	<u>450</u> 170	<u>379</u> 99	—71	<u>450</u> 170	<u>636</u> 356	186
50—100	<u>389</u> 69	<u>417</u> 97	28	<u>389</u> 69	<u>476</u> 156	87
100—150	<u>436</u> 136	<u>367</u> 67	—69	<u>436</u> 136	<u>413</u> 113	—23
1964 г.						
0—50	<u>691</u> 411	<u>260</u> 0	—431	<u>691</u> 411	<u>797</u> 517	106
50—100	<u>637</u> 317	<u>330</u> 10	—307	<u>637</u> 317	<u>646,5</u> 326,5	9,5
100—150	<u>692</u> 392	<u>410</u> 110	—282	<u>692</u> 392	—	—
1965 г.						
0—50	<u>609</u> 329	<u>229</u> 0	—380	<u>609</u> 329	<u>404,8</u> 125	—204
50—100	<u>522,6</u> 203	<u>269</u> 0	—254	<u>522,6</u> 203	<u>405,1</u> 85	—118
100—150	<u>563,8</u> 264	<u>373</u> 73	—191	<u>563,8</u> 264	<u>407,6</u> 108	—156

Примечание. Числитель — общая влага, знаменатель — доступная влага.

объясняется тем, что в этот год 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 учитывать специальные потери воды на испарение в воздухе, на испарение с поверхности листьев, в стыках труб и т. д. (табл. 59).

Таблица 58

Баланс влаги в каштановых почвах за вегетационный период яровой пшеницы на неорошаемом поле в Центральной Кулунде

Источник поступления и расхода влаги	1963 г.		1964 г.		1965 г.	
	м³/га	%	м³/га	%	м³/га	%
Осадки	516	35,3	1206	41,4	140	12,8
Расход воды из весенних запасов почвы	128	8,7	1260	43,3	490	44,5
Подпитывание из нижележащих горизонтов и конденсация влаги	816	56,0	445	15,3	470	42,7
Общий приход	1460	100	2911	100	1100	100
Суммарный расход (по теплобалансографу)	1400	100	2701,3	100	1180	100

Таблица 59

Водный баланс за вегетационный период яровой пшеницы на орошаемом поле при поливе дождеванием (Центральная Кулунда)

Элемент водного баланса	1963 г.		1964 г.		1965 г.	
	м³/га	%	м³/га	%	м³/га	%
Приход						
Продуктивный запас влаги, израсходованной из метрового слоя почвы	128	4,7	1060	25,1	490	21,8
Осадки	516	18,7	1206	28,5	140	6,3
Поливы (за вычетом испарения при полете струн, с поверхности листьев и потерь на полях)	322	11,7	1390	32,9	525	23,4
Подпитывание из нижележащих горизонтов и конденсация	1783	64,9	566	13,5	1081	48,5
Сумма	2749	100	4222	100	2236	100
Расход						
Суммарное испарение (по теплобалансографу)	2287	83,3	3535	83,5	1850	82,7
Расход воды на испарение при полете струн в воздухе	27,5	1,0	21,0	0,5	33,5	1,5
Расход влаги с поверхности листьев	27,5	1,0	42,0	1,0	22,0	1,0
Потери на полях						
в переносных трубах (стыках)	110,4	4,2	168,5	4,3	89,5	4,0
на фильтрацию в каналах	153,8	5,6	236,0	5,3	125,0	5,6
во временных оросителях (на сбросы)	142,8	5,2	219,5	5,4	116,0	5,2
Суммарный расход	2749	100	4222	100	2236	100

Испарение в воздухе и задержание листовой поверхностью при дождевании, в отличие от потерь при поверхностных способах

полива на глубинную фильтрацию [264], в значительной степени полезны, так как улучшают микроклимат и способствуют более активной физиологической деятельности растений, а также повышению урожайности.

Следовательно, в богарных условиях основной приходной статьей водного баланса являются осадки вегетационного периода, а также запасы продуктивной влаги, накопленной в активном слое почвы к началу сева сельскохозяйственных культур. На орошаемых каштановых почвах (при глубине залегания грунтовых вод выше 3 м) основной приходной статьей является оросительная норма. 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.

5.5. Методы определения суммарного испарения

Большое число методов, предложенных для определения испарения с поверхности суши и суммарного испарения, невозможно проанализировать в настоящей работе, поэтому ограничимся рассмотрением основных методов, получивших распространение в СССР и за рубежом.

Метод водного баланса. Этот метод применяется для оценки испарения с определенных участков суши, в том числе и с сельскохозяйственных угодий. Уравнение водного баланса корнеобитаемого слоя почвы ограниченного участка территории для конечного промежутка времени можно записать в виде

$$X + G_1 + \Pi + V_1 + W_1 = E + G_2 + C + V_2 + W_2, \quad (43)$$

где X — атмосферные осадки; G — приток грунтовых вод со стороны; Π — приток поверхностных вод на участок (в случае анализа водного баланса орошаемого массива вместо этой величины берется M — оросительная норма); G_2 — отток грунтовых вод; C — поверхностный сток; V_1 — поступление влаги из глубоких горизонтов; V_2 — фильтрация влаги в более глубокие горизонты; W_1 и W_2 — запасы влаги в начале и конце расчетного интервала времени; E — суммарное испарение.

В связи с трудностями экспериментального определения таких составляющих, как поверхностный и подземный сток, влагообмен с нижележащими слоями почв и др., полное уравнение водного баланса обычно на практике применяется редко. Если пренебречь вертикальным влагообменом, что допустимо при глубоком залегании грунтовых вод [136, 241], то величина испарения определится как разность влагозапасов верхнего слоя почвы с учетом осадков

$$E = X + (W_1 - W_2). \quad (44)$$

Уравнением (44) рекомендуется пользоваться в том случае, если атмосферные осадки расходуются на инфильтрацию в почво-

грунты без образования стока. Метод водного баланса дает лишь осредненную величину суммарного испарения и поэтому не позволяет выявить физическую структуру испарения в зависимости от теплоэнергетических, метеорологических, биологических и других факторов, что является недостатком метода.

Метод теплового баланса. В основе метода лежит уравнение теплового баланса. Испарение E (мм) может быть определено по упрощенной формуле теплового баланса

$$E = \frac{1}{60} (R - P - B), \quad (45)$$

где R — радиационный баланс подстилающей поверхности (кал/см²), P — турбулентный поток тепла (кал/см²), B — теплообмен подстилающей поверхности с нижележащими слоями (кал/см²). Эти величины определяются либо непосредственно с помощью теплобалансографа, либо из соотношений (31) и (32).

В настоящее время из составляющих уравнения теплового баланса на сетевых станциях непосредственно измеряется только радиационный баланс R , а теплообмен в почве B и турбулентный поток тепла P вычисляются по материалам градиентных наблюдений в верхнем слое почвы и в нижнем слое воздуха. Как указывает С. И. Харченко, для определения потока тепла в почву B может быть использована формула

$$B = \frac{c}{\tau} \left(S_1 - \frac{a}{H_1 - H_2} S_2 \right), \quad (46)$$

где c — объемная теплоемкость почвы; τ — некоторый интервал времени, для которого находится среднее значение потока; S_1 — величина, характеризующая изменение температуры в верхнем 20-сантиметровом слое почвы за интервал τ ; a — средний коэффициент температуропроводности верхнего слоя почвы; H_1 и H_2 — фиксированные глубины в этом слое; S_2 — величина, характеризующая изменение во времени разности температур почвы.

Следует отметить, что определение испарения с помощью метода теплового баланса в настоящее время — достаточно трудоемкий процесс, который пока не под силу рядовым сетевым станциям. Однако этот метод может найти применение на опорных специализированных агрометеостанциях, стационарных научно-исследовательских учреждений и т. п. С целью расширения диапазона условий применения метода теплового баланса при малых значениях градиентов температуры и влажности воздуха часто предлагается использовать метод турбулентной диффузии.

Метод турбулентной диффузии. Метод турбулентной диффузии позволяет по данным градиентных измерений рассчитывать теплообмен и испарение с подстилающей поверхностью. Одним из вариантов этого метода является метод, предложенный А. Р. Константиновым [101], согласно которому интенсивность турбулентного

теплообмена P (кал/см²·ч) и испарения E (мм/ч) можно рассчитать по формулам:

$$P = \frac{16,3\gamma O_T H_\Phi}{\lg \frac{200}{Z'_0} \lg \frac{1000}{Z'_0} (T_0 - T_{2,0})}, \quad (47)$$

$$E = \frac{0,76\gamma O_e H_\Phi}{\lg \frac{200}{Z'_0} \lg \frac{1000}{Z'_0} (e_0 - e_{2,0})}, \quad (48)$$

где γ — поправочный коэффициент, характеризующий отличие естественных профилей метеорологических элементов от логарифмических; O_T , O_e — некоторые параметры, характеризующие влияние выборочности влагообмена на интенсивность испарения; Z'_0 — коэффициент шероховатости; e_0 , T_0 , $e_{2,0}$, $T_{2,0}$ — упругость пара и температура воздуха, определяемые на высоте 0 и 2 м; H_Φ — скорость ветра на высоте флюгера.

Данные формулы позволяют рассчитывать интенсивность турбулентного теплообмена P и испарения E по значениям $T_{2,0}$ и $e_{2,0}$, так как величины Z'_0 , γ , O_T , O_e , H_Φ , $(T - T_{2,0})$ и $(e_0 - e_{2,0})$ являются известными функциями температуры и влажности воздуха, измеряемыми сетевыми метеостанциями. Следовательно, метод турбулентной диффузии принципиально отличается от подобных расчетных схем тем, что он дает возможность определять как месячные, так и годовые суммы испарений по данным сетевых станций.

С. И. Харченко [241] применил метод турбулентной диффузии для определения суммарного испарения с орошаемого массива в условиях Ростовской области, но не получил положительных результатов из-за больших ошибок измерения градиентов температуры и влажности воздуха.

В последние годы А. Р. Константинов, Л. И. Сакали, Н. И. Гойса, Р. Н. Олейник и Л. А. Филиппенко [101] разработали метод расчета норм и сроков полива по температуре и влажности воздуха. На основании предложенной ими биологической кривой для кукурузы и среднепентадных значений температуры и упругости пара дается расчетная схема по вычислению фактической испаряемости. В настоящее время этот метод проходит производственные испытания на орошаемых полях Украины.

Комплексные методы расчета испарения. Эти методы предусматривают совместное решение уравнений водного и теплового балансов. В СССР М. И. Будыко [36] и в Англии Х. Л. Пенман [300] почти одновременно предложили методы определения испаряемости путем использования уравнения теплового баланса, отдельных составляющих водного баланса и некоторых эмпирических соотношений, вытекающих из формулы Дальтона. Испаряемость E_0 , по М. И. Будыко, определяется из соотношения

$$E_0 = \rho D (q_w - q), \quad (49)$$

где ρ — плотность воздуха; D — интегральный коэффициент турбулентной диффузии; q_w — удельная влажность насыщенного водяным паром воздуха при температуре испаряющей поверхности; q — наблюдаемая удельная влажность воздуха.

В работах А. И. Будаговского [35], П. П. Кузьмина [117] и В. С. Мезенцева [135] дано дальнейшее развитие метода М. И. Будыко. С помощью комплексного метода построена карта испарения для ЕТС, а в «Атласе теплового баланса земного шара» приведены аналогичные карты для всей территории суши земного шара. Таким образом, комплексный метод получил повсеместное распространение.

В США в последние десятилетия широкое распространение получили формулы С. В. Торнтвайта [306] и Х. Ф. Блейни — В. Д. Кридла [276], а во Франции — формула Л. Тюрка [307]. В эти формулы входят отдельные элементы уравнений водного и теплового баланса, а также метеорологические показатели климата.

В отечественной практике зарубежные методы расчета суммарного испарения широкого распространения не получили из-за отсутствия единства в программах наблюдений сетью метеорологических станций. В работе С. И. Харченко [241] показано, что формула Блейни—Кридла практически непригодна для степей Северного Кавказа, так как при расчете месячных величин суммарного испарения она дает большие ошибки преимущественно в сторону завышения в среднем почти в два раза.

Метод С. И. Харченко. Решив совместно уравнения водного и теплового баланса, а также используя некоторые эмпирические зависимости, С. И. Харченко [241] получил расчетную формулу для определения суммарного испарения E , связывающую основные элементы теплового и водного баланса:

$$E = \frac{2W_{hн} + X + M + Y_{п} + K_h - J_h}{1 + \frac{2\gamma L}{\beta(R_0 - P_0)}}, \quad (50)$$

где $W_{hн}$ — начальные влагозапасы в слое почвы толщиной h ; X — атмосферные осадки; M — оросительная норма; $Y_{п}$ — сток поверхностных вод; K_h — приход за счет восходящего тока капиллярной и пленочной влаги или подпитывание за счет грунтовых вод; J_h — расход влаги за счет нисходящего потока (инфильтрации) за пределы корнеобитаемого слоя почвы; γ — пористость почвы; β — биологический коэффициент, зависящий от фазы развития растений и состояния деятельной поверхности; R_0 — радиационный баланс; P_0 — теплообмен в почве.

При глубоком залегании грунтовых вод, когда величинами вертикального влагообмена можно пренебречь, поскольку они по сравнению с испарением составляют ничтожно малую величину (0,1—0,2 мм/сут.), а также при отсутствии поверхностного стока

формула (50) примет более простой вид:

$$E = \frac{2W_{hm} + X + M}{1 + \frac{2\gamma}{\beta E_0}}, \quad (51)$$

где E_0 — испаряемость.

Как отмечает С. И. Харченко, формулами (51) и (52) можно пользоваться для определения суммарного испарения различных сельскохозяйственных культур при периодических поливах и на неорошаемых полях с различной глубиной залегания грунтовых вод (более 0,1 м). При неглубоком залегании грунтовых вод необходим учет величины подпитывания (K_h), которая, по Харченко, может быть определена из соотношения

$$K_h = \frac{E_0}{e^{mH}}, \quad (52)$$

где e — основание натуральных логарифмов; H — глубина зеркала грунтовых вод (м); m — параметр, отражающий влияние фаз развития растений и характера почво-грунтов, изменяющийся в пределах 0,78—1,4.

Как показали многолетние исследования Харченко, формула (52) справедлива для различных сельскохозяйственных культур в неорошаемых и орошаемых районах зоны недостаточного увлажнения с суглинистыми почвами при залегании грунтовых вод на глубине от 0,1 до 5—6 м от поверхности.

Тепло-воднобалансовый метод Харченко позволяет определять величины суммарного испарения с сельскохозяйственных полей за месячные и межфазовые периоды отдельных лет. Формулы пригодны для равнинной территории ЕТС, Западной Сибири, Казахстана и Средней Азии. Как указывает М. Г. Голченко [51], тепло-воднобалансовый метод Харченко дал также положительные результаты при определении суммарного испарения в условиях Белоруссии — зоны неустойчивого увлажнения.

Биоклиматический метод А. М. Алпатьева. В основу биоклиматического, или биофизического, метода положен установленный теоретически и проверенный экспериментально факт, что расход влаги орошаемым полем при высоких урожаях, т. е. при нормальном развитии растительной массы, определяется теплоэнергетическими ресурсами атмосферы. Это означает, что потребление растениями воды при оптимальной влагообеспеченности изменяется под влиянием географических условий среды (главным образом климата) и биологических особенностей растений. Суммарное испарение E в этом случае может быть определено из соотношения

$$E = K \sum d, \quad (53)$$

где $\sum d$ — сумма среднесуточных дефицитов влажности воздуха (мм); K — коэффициент суммарного испарения, изменяющийся в онтогенезе по характерной для каждого вида растений кривой.

В качестве основного элемента, определяющего величину суммарного испарения, Алпатьев [10, 11] выбрал дефицит влажности

воздуха, поскольку он как производная от температуры и влажности воздуха является, по существу, комплексным показателем условий испарения. Кроме того, коррелятивная связь дефицита влажности воздуха с испарением весьма тесная ($r=0,88$). Исследованиями Алпатьева [10] показано, что биологические кривые представляющие собой ряд коэффициентов K , изменяющихся в оптогенезе от декады к декаде периода вегетации и вычисляются путем деления суммарного испарения E или водопотребления (транспирация плюс испарение с поверхности почвы) за декадный или межфазный период на сумму дефицитов влажности воздуха $\sum d$ за тот же отрезок времени. Величина суммарного испарения (водопотребления) в этом случае определяется как разность влагозапасов активного слоя почвы с учетом осадков.

Дальнейшее развитие и использование биофизического метода А. М. Алпатьева нашло отражение в работах [12, 35, 59, 60, 101, 129, 241, 263 и др.]. С. М. Алпатьев [12] считает, что коэффициенты биологических кривых испарения более точно можно определять по сумме температур. Это позволило ему совместить пофазные коэффициенты по годам и по регионам применительно к условиям Украины. Метод Алпатьева рекомендуется применять при проектировании режимов орошения.

Суммарный расход воды с поля, занятого той или иной культурой, может быть установлен по коэффициенту водопотребления и плановой урожайности культуры, методами водного и теплового баланса, по метеорологическим показателям.

Методы определения суммарного испарения по эмпирическим формулам и коэффициентам, учитывающим температуру воздуха, как отмечает Д. А. Штойко [263], часто дают удовлетворительные результаты.

И. А. Шаров [256] предложил рассчитывать суммарный расход воды по формуле

$$E = K_v \sum t + 4N, \quad (54)$$

где E — суммарное испарение (водопотребление); $\sum t$ — сумма температур за период вегетации; K_v — коэффициент водопотребления на 1°C , ориентировочно равный 2 м^3 ; N — число дней вегетационного периода.

Проверка результатов суммарного испарения за период вегетации, рассчитанного по этой формуле, показала, что величины его довольно близки к фактическим данным лишь для тех летних месяцев и периодов, когда наблюдается сравнительно постоянная относительная влажность воздуха.

Украинский научно-исследовательский институт орошаемого земледелия [263] предложил эмпирическую формулу для определения суммарного испарения с учетом температуры и относительной влажности воздуха. Многолетние исследования УкрНИИОЗ показали, что определение расходной части водного баланса и установление сроков поливов по этой формуле дают вполне удовлетворительные результаты.

Анализ методов определения суммарного испарения показал, что для агрогидрометеорологического обеспечения орошаемого земледелия в степной зоне величину водопотребления сельскохозяйственных культур следует определять методами, в основу которых положены либо метеорологические показатели на протяжении всего вегетационного периода, либо совместный анализ уравнений водного и теплового баланса с учетом влагообмена в зоне аэрации и особенностей биологии растений. К числу таких методов относятся биоклиматический метод А. М. Алпатьева [10], биофизический метод С. М. Алпатьева [12], тепло-водиобалансовый метод С. И. Харченко, геофизический комплексный метод В. С. Мезенцева [136] и агрогидрологические методы, разработанные сотрудниками Гидрометцентра СССР [25, 137, 184].

5.6. Режим и способы орошения

Поливной режим — один из основных вопросов проектирования оросительных систем при рациональном ведении орошаемого земледелия. Режим орошения (совокупность количества, сроков и норм полива) культуры орошаемого севооборота при определенных агроклиматических и агрометеорологических условиях должен соответствовать потребностям растений в воде во все периоды роста и развития. При этом он должен способствовать регулированию не только водного, но и пищевого, солевого и теплового режимов почвы, предупреждать ухудшение мелиоративного состояния орошаемых земель при эффективном использовании земельных и водных ресурсов. Следует особо подчеркнуть, что биологические особенности растений и их потребность к воднопитательному режиму почвы — основа рационального поливного режима [175].

Оросительная норма. А. Н. Костяков предложил оросительную норму определять по следующему уравнению:

$$M = K_v Y - 10 (\mu_1 X_1 + \mu_2 X_2 + \mu_3 X_3) - W_{гр}, \quad (55)$$

где M — оросительная норма ($\text{м}^3/\text{га}$); K_v — коэффициент водопотребления ($\text{м}^3/\text{т}$); Y — плановая урожайность культуры (т); X_1, X_2, X_3 — сумма осадков за вегетационный, невегетационный холодный и невегетационный теплый периоды (мм); μ_1, μ_2, μ_3 — коэффициенты использования осадков по этим периодам; $W_{гр}$ — используемая величина грунтовых вод ($\text{м}^3/\text{га}$). Количество используемых грунтовых вод берется в зависимости от глубины их залегания и степени минерализации [268].

Агрометеорологи предложили ряд методов расчета оросительных норм и сроков полива, основанных на количественных метеорологических связях. Проведенные полевые исследования в степных районах Заволжья, в Северном Казахстане и в Кулундинской степи и полученные на их основе связи урожаев яровой пшеницы с суммарными расходами влаги (осадки и расходы влаги из почвы) позволили разработать метод расчета оптимальных оросительных норм. Связь урожаев яровой пшеницы с суммарными рас-

ходами влаги представлена Н. Б. Мещаниновой уравнениями регрессии.

Как отмечает Г. В. Белухина, оросительные нормы, рассчитанные по средним данным, не всегда предупреждают повреждения растений от суховея. Норма полива ею определяется в зависимости от ожидаемой интенсивности и продолжительности засушливого периода. На основании этих предпосылок Белухина составила карту оросительных норм, необходимых для получения урожая пшеницы не менее 30—35 ц/га. Для Кулундинской степи в пределах Алтайского края, по расчетам Г. В. Белухиной, оросительная норма для яровой пшеницы равна 2500 м³/га.

Ю. С. Мельник по суммам эффективных температур, радиационному балансу и суммарному испарению с орошаемых полей для правобережья Иртыша в пределах Кулундинской степи определил среднюю оросительную норму 1850 м³/га.

Л. П. Серякова [206], используя данные А. М. Алпатьева о средних нормах водопотребления растений и сопоставив их с данными об испаряемости, установила, что эти величины весьма близки, что позволило ей использовать величину испаряемости в качестве характеристики суммарного водопотребления растений в ряде агрометеорологических расчетов. На основании данных по испаряемости и испарению Серякова вычислила для ряда культур климатические нормы орошения, которые она определяла как разность сумм испаряемости и испарения за поливной период соответствующей культуры. Сравнение вычисленных таким способом оросительных норм с соответствующими эмпирическими величинами, полученными на опытно-мелиоративных станциях, дало удовлетворительные результаты. Приведенные в работе Л. П. Серяковой карты оросительных норм для основных сельскохозяйственных культур дают представление о географической изменчивости этих величин в засушливых районах страны.

В последние годы в СевНИИГиМ Д. Б. Циприсом [244] разработан способ определения оросительных норм для лет разной обеспеченности осадками по числу единичных засушливых периодов, а сроки полива — по суточным величинам осадков и среднесуточной температуре воздуха. Им же составлены программы расчета поливного режима для основных сельскохозяйственных культур на ЭВМ «Наири». Оросительные нормы, рассчитанные по этой методике для зоны неустойчивого увлажнения (БССР, ЦЧО, Урал, Сибирь), хорошо согласуются с опытами [51].

В заключение этого раздела отметим, что VII Международный Конгресс по ирригации и дренажу, состоявшийся в апреле 1969 г. в Мексике, также указал на перспективность применения расчетных методов с использованием метеорологических и тепло-водно-балансовых показателей для определения суммарного испарения (водопотребления) и диагностирования сроков и норм полива сельскохозяйственных культур.

Поливная норма. При периодических поливах влажность активного слоя почвы колеблется от допустимого минимума (влажность

разрыва капилляров, по Долгову и Роде, или влажность замедления роста растения, по Мичурину) до максимума, определяемого наименьшей влагоемкостью. Зная наименьшую влагоемкость и нижний порог влажности для разных культур, глубину активного слоя и объемный вес почвы, определяют поливную норму по формуле

$$M=100H\gamma(\beta_{н.в}-\beta_0), \quad (56)$$

где M — поливная норма ($\text{м}^3/\text{га}$); H — глубина активного слоя почвы (м); γ — объемный вес почвы ($\text{т}/\text{м}^3$); $\beta_{н.в}$ — наименьшая влагоемкость (% от веса сухой почвы); β_0 — нижний порог влажности, равный 0,5—0,8 наименьшей влагоемкости с учетом биологических особенностей культуры и типа почвы (% от веса сухой почвы).

Согласно С. М. Перехресту [174] и другим, поливные нормы при орошении полевых культур на почвах среднего и тяжелого механического состава колеблются при самотечных способах полива от 500 до 900 $\text{м}^3/\text{га}$ и при дождевании — от 250 до 500 $\text{м}^3/\text{га}$.

Л. А. Разумова [184] считает, что во избежание фильтрации поливных вод в близкорасположенный водоносный горизонт норма не должна превышать 500 $\text{м}^3/\text{га}$, при этом глубину активного слоя почвы нужно рассчитывать исходя из степени иссушения наиболее богатого питательными веществами верхнего полуметрового слоя. Она также подчеркивает, что при установлении связей между урожаями сельскохозяйственных культур и агрометеорологическими условиями их произрастания в районах с высоким стоянием грунтовых вод необходимо количественно учитывать роль грунтовых вод в водоснабжении растений.

Сроки полива сельскохозяйственных культур. Сроки полива обычно определяют межполивным периодом, который зависит от поливной нормы (фактического запаса влаги на начало расчетного периода), среднесуточного суммарного расхода воды культурой в данный период вегетации и количества осадков между поливами. Срок очередного полива наступит тогда, когда влажность в активном слое почвы опустится до нижнего предела оптимального увлажнения, т. е. до влажности замедления роста растения. Продолжительность межполивного периода в сутках T можно определить по формуле

$$T=\frac{m+X_0\pm W}{E_{\text{сут}}}, \quad (57)$$

где m — поливная норма (активный запас влаги в почве); X_0 — осадки за расчетный период; W — влагообмен с нижележащими слоями почвы; $E_{\text{сут}}$ — среднесуточный суммарный расход.

К настоящему времени разработано несколько методов определения сроков полива: по внешним морфологическим признакам, по влажности почвы (термостатно-весовой метод), по физиологическим показателям растений, — а также ряд методов, основанных на построении так называемых биологических кривых.

С агробиологической точки зрения наиболее объективным, по нашему мнению, является физиологический метод Н. С. Петниова [175], основанный на определении сосущей силы и концентрации клеточного сока с помощью рефрактометра. Этот метод нашел применение в исследовательской работе.

Л. А. Разумова, С. Б. Мاستинская и Н. Б. Мещанинова [183] сроки и нормы полива устанавливают по агрогидрологическим количественным связям. Расход почвенной влаги с орошаемого поля пшеницы I зависит от наличных запасов влаги в почве x , температуры воздуха y и осадков z в период трубкования — восковая спелость ($I = 0,4x + 0,37y - 0,41z - 7,6$). Суточный прирост стеблей орошаемой пшеницы h зависит от количества влаги в почве x и температуры воздуха y в период трубкования — цветение ($h = 0,017x + 0,11y - 1,6$).

Из первого выражения определяют изменение влагозапасов за пентаду. Подставляя рассчитанные величины запасов влаги во второе выражение, получают суточный прирост стеблей пшеницы по пентадам. Если при этом окажется, что влажность почвы снизится до таких пределов, которые не обеспечивают величину суточного прироста стеблей 3,0—3,5 см, то следует давать очередной полив. Поливная норма определяется по разности между наименьшей влагоемкостью метрового слоя почвы и запасом влаги в этом слое. Н. Б. Мещанинова [137, 138] в последующих своих работах предложила метод расчета сроков и норм полива яровой пшеницы с учетом метеорологических факторов.

Г. В. Белухина [25] считает, что для успешной борьбы с засухами сроки и нормы полива должны рассчитываться не на основании средних за период погодных условий, а по наблюдениям за каждый день. При дефиците влажности воздуха в 13 ч более 30 мб с орошаемого поля, по данным Белухиной, испаряется не менее 40—50 м³/га, что должно быть восполнено поливами. Этот метод достаточно прост при практическом применении и может быть использован на сетевых агрометстанциях для обслуживания крупных ирригационных систем.

Автором и М. Г. Санояном [197] предложен метод, на основании которого сроки полива определяются по градиентам температуры и влажности воздуха, а поливная норма — по величине суммарного испарения путем интегрирования его после очередного полива до следующего срока, который в свою очередь определяется по градиенту температуры. При наличии системы автоматического регулирования целесообразно производить частые поливы, создавая тем самым оптимальный режим увлажнения растений [123, 175].

Коэффициенты использования осадков. Как было сказано, орошение в Кулундинской степи должно рассматриваться как дополнительный источник увлажнения к естественным осадкам, эффективность которых в летний и осенне-зимний периоды неодинакова. Из-за трудности определения поглощения почвой атмосферных осадков до настоящего времени еще не имеется достаточно надежного метода определения их полезности, так как степень усвоения

почвой осадков, выпадающих в разные периоды года, зависит от общего количества осадков за теплый и холодный периоды, суммы осадков менее 5 мм, поверхностного стока, характера сельскохозяйственных угодий, особенностей агротехники и т. д. Эффективными принято называть осадки, увлажняющие почву. Неэффективных жидких осадков вообще нет, так как даже незначительные (меньше 5 мм) осадки изменяют влажность воздуха, частично ассимилируются вегетативной массой растений, т. е. благоприятно действуют на растения [10, 11, 102, 119, 234, 266].

По данным А. В. Процерова [181], коэффициент поглощения почвой летних осадков на юге Украины и в Поволжье (Куйбышев) в среднем за годы наблюдений составляет для пропашных культур не менее 0,7 и для узкорядных — 0,6. В. В. Колпаков [98] для Ростовской области и юга Украины в средний по влажности год устанавливает для полевых культур коэффициент поглощения осадков 0,65—0,70. Б. А. Шумаков [268] и Г. К. Львов [129] при разработке поливных режимов сельскохозяйственных культур по основным мелиоративным районам Северного Кавказа получили следующие коэффициенты поглощения осадков:

Холодный период (декабрь—март)	0,5
Весенне-летний период (апрель—июнь)	0,6
Июль—август	0,3
Сентябрь	0,5
Октябрь—ноябрь	0,7

М. З. Журавлев [72] для условий Омской области принимает коэффициент поглощения осадков в теплый период 0,6. А. П. Федосеев считает, что для Казахстана коэффициент поглощения почвой осенне-зимних осадков может быть принят для песков 0,77, супесей 0,70 и суглинков 0,62.

Л. С. Кельчевская [88] разработала подробные методические указания по расчету коэффициента поглощения почвой осенне-зимних осадков и влажности почвы для УССР. По данным о запасах продуктивной влаги под сельскохозяйственными культурами и количестве осенне-зимних осадков ею получены уравнения связи коэффициента поглощения почвой осадков с указанными компонентами. Для простоты пользования этими уравнениями в практических расчетах Кельчевская построила оригинальные номограммы связи коэффициента поглощения осадков с осенней влажностью почв и количеством осенне-зимних осадков.

Для вегетационного периода (май—август) в Кулундинской степи коэффициент использования осадков может быть принят 0,7—0,8, для холодного периода (ноябрь—апрель) — 0,6—0,7 (в среднем 0,7). Так как по метеостанциям Ключи, Славгород и Баево в нашем распоряжении не было данных за последние годы о запасах продуктивной влаги в метровом слое, мы решили их рассчитать по следующей методике. Сумма осадков за октябрь—декабрь и январь—апрель в первом приближении принята с коэффициентом 0,7. Эта величина и определяет продуктивные запасы

влаги в почве перед севом. Сопоставление расчетных и фактических запасов за 1960—1964 гг. подтвердили правильность этого предположения (табл. 60).

Таблица 60

Запасы продуктивной влаги (мм) в метровом слое почвы
под яровой пшеницей перед началом сева

Год	Ключи		Славгород		Баево	
	расчетные данные	данные ГМО	расчетные данные	данные ГМО	расчетные данные	данные ГМО
1960	80	—	78	76	74	72
1961	103	105	124	127	94	95
1962	95	93	111	114	116	112
1963	80	—	63	60	78	75
1964	137	140	120	124	134	130

Непосредственное определение коэффициента поглощения осадков на полях яровой пшеницы в вегетационные периоды (май—август) 1963—1965 гг. в Ключевском районе Алтайского края по методике А. М. Алпатьева [10, 11] показало, что он мало изменяется из месяца в месяц и в среднем для летних месяцев составляет 0,75. Установлено, что этот коэффициент сильно зависит от влажности полуметрового слоя почвы. Осадки количеством до 5 мм, выпадающие на сухую почву с молодыми растениями, также являются эффективными, так как они способствуют атмосферной конденсации (являются своего рода ядрами конденсации влаги). Если же растения заимствуют влагу из горизонтов почвы ниже пахотного (25 см), то осадки до 5 мм сравнительно малоэффективны. Они в основном задерживаются вегетативной массой растений, особенно растений с хорошо развитой листовой поверхностью (капусты, кукурузы) и практически не увлажняют почву.

Для теплого периода года (май—август) коэффициент поглощения осадков может быть также определен исключением из месячных сумм малоэффективных осадков (менее 5 мм), имеющих небольшое агрономическое значение и не увлажняющих активный слой почвы. На основании анализа имеющихся многолетних данных о декадных суммах осадков нами установлено, что малоэффективные осадки составляют от 20 до 30% (для метеостанций Ключи, Щербакты, Михайловка, Купино, Баево).

Дифференцированный режим орошения основных сельскохозяйственных культур. В условиях неустойчивой обеспеченности осадками режим орошения сельскохозяйственных культур изменяется в зависимости от метеорологических условий.

На некоторых земельных массивах Кулундинской степи уровень грунтовых вод расположен на глубине 2,5—3 м и выше, поэтому величины оросительных норм должны быть дифференцированы в зависимости от зеркала грунтовых вод и степени минерализации. Кроме того, оросительные нормы должны определяться не только для среднесухого года (обеспеченность 75%), но и для среднего

Водопотребление основных сельскохозяйственных культур

Таблица 61

Культура	Урожайность (т/га) и коэффициент водопотребления (м³/т)				Принятые величины		
	По данным Б. А. Шумакова		По данным И. Н. Шабалина		урожайность (т/га)	коэффициент водопотребления (м³/т)	суммарное водопотребление (м³/га)
	урожайность	коэффициент водопотребления	урожайность	коэффициент водопотребления			
Яровая пшеница	3	1200	3,5	1100—2200	2,5	1200—1300	3000—3250
Кукуруза на силос	40	100—120	40	100	35	100—110	3500—3850
Травы							
многолетние	10	550—600	10	500—700 ²	7	500—600	3500—4200
однолетние	6	600	—	—	4	600	2400
Сахарная свекла	60	120—130	—	—	30—35	110—120	3300—4200
Капуста поздняя	30	120	—	—	40	120	4800
Морковь	40	80—120	50	—	30—35	100	3000—3500
Томаты	30	90—150	—	—	30	120	3600
Огурцы	30	120—150	30	—	30	130	3900
Картофель	20—25	200—250	—	—	20 ¹	150—160	3000—3200

¹ По данным Хакасской опытно-мелиоративной станции (Е. Т. Стриго).² По данным И. Ф. Хруппа [243].

Таблица 62

Размеры оросительных норм ($\text{м}^3/\text{га}$) для условий Кулундинской степи при залегании грунтовых вод глубже 3 м в годы разной обеспеченности осадками

Культура	Принятая урожайность, ц/га	Павлодарская плоско-полюнная равнина		Центрально- Кулундинская аллювиальная равнина		Прииртышская озерно-аллювиаль- ная равнина		Приобская рас- члененно-ували- стая равнина		Северо-Кулундин- ская гривно-озер- ная равнина	
		75%	50%	75%	50%	75%	50%	75%	50%	75%	50%
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Яровая пшеница	20—25	2100	1700	1900	1600	1800	1400	1600	1200	1700	1300
Кукуруза на силос	300—350	2500	2200	2400	2000	2300	1900	2100	1700	2200	1800
Многолетние травы на сено	70	3200	2800	3000	2700	2900	2500	2700	2300	2800	2400
Однолетние травы на сено	40	1500	1100	1300	1000	1200	800	1000	600	1100	700
Сахарная свекла	300—350	3200	2800	3000	2600	2900	2400	2700	2200	2800	2300
Капуста поздняя	350—400	3800	3400	3600	3200	3500	3000	3300	2800	3400	2900
Томаты	300	2700	2300	2500	2200	2400	2000	2200	1800	2300	1900
Морковь	300	2600	2200	2400	2100	2300	1900	2100	1700	2200	1800
Огурцы	300	3000	2600	2800	2500	2700	2300	2500	2100	2600	2200
Картофель поздний	200	2200	1800	2000	1700	1900	1500	1700	1300	1800	1400

(обеспеченность 50%), средневлажного (обеспеченность 25%) и влажного (обеспеченность 10%).

Для определения обеспеченности сельскохозяйственных культур при естественном увлажнении используем данные метеостанций Ключи, Славгород (Центральная Кулунда), Баево, Родино, Хабары (Приобское плато), Карасук, Купино (Северная Кулуида), Щербакты (Павлодарское плато) и Михайловка (Прииртышская пониженная равнина). Данные о водопотреблении основных сельскохозяйственных культур в соответствии с заданной урожайностью представлены в табл. 61. Аналогичные данные были получены Н. А. Мосиенко и М. Г. Санояном для яровой пшеницы (урожайность составляет 2,5 т/га при коэффициенте водопотребления 1200—1300 м³/т). Коэффициент водопотребления авторы рассчитали на основании величин суммарного испарения за 1963—1965 гг., измеренных с помощью теплобалаисографа. По данным А. И. Снытко, урожайность сахарной свеклы равна 38,4 т/га, коэффициент водопотребления 110—120 м³/т.

Для установления оросительной нормы¹ по каждой культуре из суммарного водопотребления вычитаются полезные осадки с учетом принятого нами коэффициента поглощения 0,7. Все расчеты производим для среднесухого, среднего, средневлажного и влажного годов и на основании этих расчетов получаем оросительные нормы для уровня залегания грунтовых вод выше 3 м (табл. 62). Расчеты показывают, что в среднесухой год потребность в оросительной воде в сравнении со средневлажным возрастет в 2,5—3 раза. При близком залегании грунтовых вод оросительные нормы должны быть уменьшены в зависимости от глубины залегания и степени засоленности (табл. 63). Оросительные нормы с учетом частичного использования грунтовых вод (из капиллярной каймы) представлены в табл. 64. В Центральной Кулунде, как правило, почвенно-грунтовые воды (верховодка) пресные (плотный остаток менее 1 г/л); это было нами учтено при составлении дифференцированных оросительных норм.

Таблица 63

Ориентировочные величины использования растениями грунтовых вод в зависимости от глубины их залегания (по Б. А. Шумакову)

Глубина залегания грунтовых вод (м)	Количество используемых растениями грунтовых вод (м ³ /га)	
	пресных	слабозасоленных
1,0	2500	1300
1,5	2000	800
2,0	1000	400
2,5	500	200
3,0 и более	0	0

² Расчет проведен методом водного баланса [106] в интерпретации Б. А. Шумакова [268].

**Оросительные нормы (м³/га) для лет разной обеспеченности осадками
при разных глубинах залегания грунтовых вод**

Культура	Для среднесухого года (обеспеченность 75%)				Для среднего года (обеспеченность 50%)			
	Глубина залегания грунтовых вод (м)							
	1,5	2,0	2,5	>3	1,5	2,0	2,5	>3
1	2	3	4	5	6	7	8	9

Павлодарская плоско-волнистая равнина (Павлодарская область)

Яровая пшеница . . .	—	1100	1600	2100	—	700	1200	1700
Кукуруза на силос . . .	500	1500	2000	2500	—	1200	1700	2200
Многолетние травы . . .	1200	2200	2700	3200	800	1800	2300	2800
Однолетние травы . . .	—	500	1000	1500	—	—	600	1100
Сахарная свекла . . .	1200	2200	2700	3200	800	1800	2300	2800
Капуста поздняя . . .	1800	2800	3300	3800	1400	2400	2900	3400
Томаты	700	1700	2200	2700	300	1300	1800	2300
Морковь	600	1600	2100	2600	—	1200	1700	2200
Огурцы	1000	2000	2500	3000	600	1600	2100	2600
Картофель поздний . . .	—	1200	1700	2200	—	800	1500	1800

Центрально-Кулундинская аллювиальная равнина (Алтайский край)

Яровая пшеница . . .	—	900	1400	1900	—	600	1100	1600
Кукуруза на силос . . .	400	1400	1900	2400	—	1000	1500	2000
Многолетние травы . . .	1000	2000	2500	3000	700	1700	2200	2700
Однолетние травы . . .	—	300	800	1300	—	—	500	1000
Сахарная свекла . . .	1000	2000	2500	3000	600	1600	2100	2600
Капуста поздняя . . .	1600	2600	3100	3600	1200	2200	2700	3200
Томаты	500	1500	2000	2500	—	1200	1700	2200
Морковь	400	1400	1900	2400	—	1100	1600	2100
Огурцы	800	1800	2300	2800	500	1500	2000	2500
Картофель поздний . . .	—	1000	1500	2000	—	700	1200	1700

Прииртышская озерно-аллювиальная равнина (Павлодарская область)

Яровая пшеница . . .	—	800	1300	1800	—	400	900	1400
Кукуруза на силос . . .	300	1300	1800	2300	—	900	1400	1900
Многолетние травы . . .	900	1900	2400	2900	500	1800	2000	2500
Однолетние травы . . .	—	—	700	1200	—	—	300	800
Сахарная свекла . . .	900	1900	2400	2900	400	1400	1900	2400
Томаты	400	1400	1900	2400	—	1000	1500	2000
Капуста поздняя . . .	1500	2500	3000	3500	1000	2000	2500	3000
Морковь	300	1300	1800	2300	—	900	1400	1900
Огурцы	700	1700	2200	2700	300	1300	1800	2300
Картофель поздний . . .	—	900	1400	1900	—	500	1000	1500

Приобская расчлененно-увалистая равнина (Алтайский край)

Яровая пшеница . . .	—	600	1100	1600	—	—	700	1200
Кукуруза на силос . . .	—	1100	1600	2100	—	700	1200	1700
Однолетние травы . . .	—	—	500	1000	—	—	—	600
Сахарная свекла . . .	700	1700	2200	2700	—	1200	1700	2200
Многолетние травы . . .	700	1700	2200	2700	300	1300	1800	2300
Капуста поздняя . . .	1300	2300	2800	3300	800	1800	2300	2800
Томаты	—	1200	1700	2200	—	800	1300	1800
Морковь	—	1100	1600	2100	—	700	1200	1700
Огурцы	500	1500	1800	2500	—	1100	1600	2100
Картофель поздний . . .	—	700	1200	1700	—	300	800	1300

Культура	Для среднесухого года (обеспеченность 75%)				Для среднего года (обеспеченность 50%)			
	Глубина залегания грунтовых вод (м)							
	1,5	2,0	2,5	>3	1,5	2,0	2,5	>3
1	2	3	4	5	6	7	8	9

Северо-Кулундинская гривно-озерная равнина (Новосибирская область)

Яровая пшеница . . .	—	700	1200	1700	—	300	800	1300
Кукуруза на силос . . .	—	1200	1700	2200	—	800	1300	1800
Многолетние травы . . .	800	1800	2300	2800	400	1400	1900	2400
Однолетние травы . . .	—	—	600	1100	—	—	—	700
Сахарная свекла . . .	800	1800	2300	2800	300	1300	1800	2300
Капуста поздняя . . .	1400	2400	2900	3400	900	1900	2400	2900
Томаты	300	1300	1800	2300	—	900	1400	1900
Морковь	—	1200	1700	2200	—	800	1300	1800
Огурцы	600	1600	2100	2600	—	1200	1700	2200
Картофель поздний . . .	—	800	1300	1800	—	400	900	1400

Примечание. Оросительная норма для поздней капусты в среднесухой год (обеспеченность 75%) составляет 300 м³/га при глубине залегания грунтовых вод 1 м.

При залегании пресных грунтовых вод на глубине 1—1,5 м от поверхности во влажный год нет необходимости в поливах даже овощных культур; в годы средние и средневлажные поливы необходимы только для овощных культур и многолетних трав.

В табл. 65 приведены ориентировочные поливные нормы и сроки поливов основных сельскохозяйственных культур для различных гидромелиоративных районов Кулундинской степи. При установлении поливных норм и сроков полива проведен дифференцированный расчет движения почвенной влаги в зависимости от запаса продуктивной влаги к началу вегетации, выпадения осадков (по декадам) и суммы среднесуточных дефицитов влажности воздуха за период от первого полива до конца действия последнего полива. При этом поливы по возможности назначались по критическим фазам развития растений.

Наши расчеты по нормам и срокам полива яровой пшеницы и сахарной свеклы весьма близки к данным, приведенным в работах И. Н. Шабалина [253], А. И. Снытко [214] и Н. Б. Мещаниновой [139] для Центральной Кулунды. Некоторая разница в величинах оросительных норм объясняется тем, что Н. Б. Мещанинова приняла плановую урожайность при поливе яровой пшеницы 35 ц/га, мы же в своих расчетах исходили из урожайности 25 ц/га и считаем эту урожайность более реальной (даже при химизации) на крупных орошаемых массивах при сплошном орошении из р. Оби (на бедных южных черноземах и светло-каштановых почвах).

При расчете оросительных норм для Кулундинской степи, кроме метода А. Н. Костякова, вполне удовлетворительные результаты получены по тепло-воднобалансовому методу С. И. Харченко. Рас-

чет сроков и норм полива основных сельскохозяйственных культур степной зоны следует производить по методам, разработанным и апробированным в Кулунде и в Поволжье [137, 138].

Способы орошения. В СССР до сих пор преобладают поверхностные способы поливов. В зонах неустойчивого и недостаточного увлажнения широко распространено дождевание. Подпочвенное и внутривитковое орошение пока еще находится в стадии разработки и проходит производственную проверку [239].

При выборе того или иного способа орошения следует отдать предпочтение тем, которые обеспечивают полную механизацию полива, автоматизацию распределения воды и рост производительности труда поливальщиков. В настоящее время этим условиям больше всего соответствует дождевание с применением широкозахватных и высокопроизводительных машин и установок типа «Фрегат» и «Волжанка». В будущем предполагается начать выпуск новых конструкций дождевальных аппаратов, счетчиков-водомеров, быстроразборных трубопроводов РТ-180, РТ-250, РТ-350, а также увеличить производство специальных комплектов поливного оборудования, предназначенного в основном для оснащения небольших орошаемых участков на местном стоке.

Дождевание овощных культур в колхозах и совхозах Кулундинской степи очень эффективно. В опытах, проводимых на Кулундинской опытной станции, подтвердилось преимущество дождевания при поливе овощей, сахарной свеклы и яровой пшеницы по сравнению с поверхностным способом орошения [153, 229]. Поливные нормы на легких (супесь) каштановых почвах в этих опытах колебались от 200 до 400 м³/га.

Исследования полива дождеванием (1963—1970 гг.) в Центральной Кулунде позволяют сделать вывод о том, что оросительная норма при дождевании может быть снижена по сравнению с поливом по бороздам на 15—30% в зависимости от почвенных условий и вида выращиваемой культуры.

Непроизводительные потери во временной оросительной сети на фильтрацию и сброс, а также на испарение в воздухе, по нашим исследованиям, при поливе дождевальной установкой ДДН-45 составляют от 17 до 21% (табл. 66).

При поливе по бороздам на легких (супесь) каштановых почвах Центральной Кулунды потери на полях составляют от 20 до 30%. Основные составляющие этих потерь — фильтрация во временной оросительной сети и за пределы активного слоя почвы при поливе повышенными нормами. Однако необходимо отметить, что часть потерь на фильтрацию во временной оросительной сети является полезной, так как она идет на увлажнение засеваемого участка и на потребление растениями. В Центральной Кулунде полезная фильтрация из временных оросителей составляет 35—50% (при поливе яровой пшеницы). М. Н. Багров [116] и Н. С. Горюнов [53] принимают размер полезной фильтрации из временных оросителей 35—40%.

Ориентировочный режим орошения сельскохозяйственных культур в усло

Культура	Павлодарская плоско-волнистая равнина				Центрально-Кулундинская	
	номер полива	срок полива по фазам развития растений	календарный срок поливов	поливная норма (м ³ /га)	номер полива	срок полива по фазам развития растений
1	2	3	4	5	6	7
Яровая пше- ница	1	Кущение	22—25 V	400	1	Кущение
	2	Трубкавание	7—10 VI	500	2	Трубкавание
	3	Перед цветением	2—5 VII	600	3	Перед цветением
	4	Налив зерна	17—20 VII	600	4	Налив зерна
Кукуруза на силос	1	Предпосевной	3—5 V	400	1	Предпосевной
	2	Фаза 4—6-й лист	6—10 VI	500	2	Фаза 4—6-й лист
	3	Перед выбрасыва- нием метелки	26—30 VI	600	3	Перед выбрасы- ванием метелки
	4	Формирование поч- атка	15—20 VII	600	4	Формирование початка
	5	То же	2—5 VIII	400		
Сахарная свек- ла	1	Предпосевной	26 IV—I V	500	1	Предпосевной
	2	Период прорывки	5—10 VI	550	2	Период прорывки
	3	Период роста ботвы, корня и накопления са- хара	22—25 VI	550	3	Период роста бот- вы, корня и на- копления саха- ра
	4	То же	2—5 VII	550	4	То же
	5	"	17—20 VII	550	5	"
	6	"	2—5 VIII	500		
Многолетние травы	1	Отрастание массы	26—31 IV	400	1	Отрастание
	2	Прирост массы	21—26 V	500	2	Прирост массы
	3	Перед первым укосом	10—15 VI	600	3	Перед первым укосом
	4	После укоса	1—5 VII	600	4	После укоса
	5	Прирост массы	20—25 VII	600	5	Прирост массы
	6	После второго укоса	15—20 VIII	500	6	После второго укоса
Капуста позд- няя	1	Высадка рассады	29 V—I VI	400	1	Высадка рассады
	2	Приживание рас- сады	2—5 VI	400	2	Приживание рас- сады
	3	Развитие зеленой массы	12—15 VI	400	3	Развитие зеленой массы
	4	Завивка кочана	22—25 VI	450	4	Завивка кочана
	5	Уплотнение коча- на	2—5 VII	450	5	Уплотнение коча- на
	6	Рост кочана	17—20 VII	450	6	Рост кочана
	7	То же	27—30 VII	450	7	То же
	8	"	9—12 VIII	400	8	"
	9	"	20—23 VIII	400		

виях среднесухого года для основных гидромелиоративных районов

аллювиальная равнина		Прииртышская озерно-аллювиальная равнина			
календарный срок поливов	поливная норма (м ³ /га)	номер полива	срок полива по фазам развития растений	календарный срок поливов	поливная норма (м ³ /га)
8	9	10	11	12	13
29 V—1 VI	400	1	Кущение	31 V—3 VI	400
12—15 VI	500	2	Трубкавание	14—17 VI	500
7—10 VII	500	3	Перед цветением	9—12 VII	500
22—25 VII	500	4	Налив зерна	24—27 VII	400
8—10 V	550	1	Предпосевной	10—12 V	500
11—15 VI	600	2	Фаза 4—6-й лист	13—17 VI	600
1—5 VII	650	3	Перед выбрасыванием метелки	3—7 VII	600
5—10 VIII	600	4	Формирование початка	7—12 VIII	600
30 IV—5 V	550	1	Предпосевной	2—7 V	500
10—15 VI	550	2	Период прорывки	12—17 VI	600
28 VI—1 VII	650	3	Период роста ботвы, корня и накопления сахара	30 VI—3 VII	650
17—20 VII	650	4	То же	19—22 VII	650
7—10 VIII	600	5	„	9—12 VIII	500
30 IV—5 V	400	1	Отрастание	2—7 V	500
26 V—1 VI	500	2	Прирост массы	28 V—3 VI	600
15—20 VI	500	3	Перед первым укосом	17—22 VI	600
6—10 VII	600	4	После укоса	8—12 VII	600
26 VII—1 VIII	500	5	Прирост массы	28 VII—3 VIII	600
20—25 VIII	500				
2—5 VI	400	1	Высадка рассады	4—7 VI	400
7—10 VI	400	2	Приживание рассады	9—12 VI	400
22—25 VI	500	3	Развитие зеленой массы	24—27 VI	500
7—10 VII	500	4	Завивка кочана	9—12 VII	500
22—25 VII	500	5	Уплотнение кочана	24—27 VII	550
1—2 VIII	500	6	Рост кочана	7—10 VIII	550
12—16 VIII	400	7	То же	24—27 VIII	500
28—31 VIII	400				

Культура	Павлодарская плоско-волнистая равнина				Центрально-Кулундинская	
	номер полива	срок полива по фазам развития растений	календарный срок поливов	поливная норма (м³/га)	номер полива	срок полива по фазам развития растений
1	2	3	4	5	6	7
Томаты	1	Перед высадкой	29 V—I VI	350	1	Высадка
	2	После высадки	1—4 VI	400	2	Перед цветением
	3	Приживание рассады	7—10 VI	400	3	Начало завязывания плодов
	4	Начало цветения	16—19 VI	400	4	Начало плодоношения
	5	Формирование плодов	23 VI—I VII	400	5	После первого сбора
	6	Плодоношение	12—12 VII	400	6	После второго сбора
	7	После первого сбора	2—5 VIII	350		
Морковь	1	Предпосевной	15—20 IV	350	1	Предпосевной
	2	После посева	25—30 IV	350	2	После первого прореживания
	3	После первого прореживания	15—20 V	350	3	После второго прореживания
	4	После второго прореживания	10—15 VI	400	4	Период роста корня
	5	Период роста корня	30 VI—5 VII	400	5	То же
	6	То же	21—26 VII	400	6	„
	7	„	10—15 VIII	350		
Огурцы	1	Предпосевной	7—10 V	400	1	Предпосевной
	2	Появление 2—3-го листа	3—5 VI	400	2	Появление 2—3-го листа
	3	До начала цветения	17—20 VI	400	3	До начала цветения
	4	Массовое плодоношение	28 VI—I VII	500	4	Массовое плодоношение
	5	То же	12—15 VII	500	5	То же
	6	„	29 VII—	400	6	„
	7	„	I VIII			
Картофель	1	После посадки	15—20 V	400	1	После посадки
	2	По всходам	31 V—5 VI	450	2	По всходам
	3	Перед цветением	26 VI—I VII	450	3	Перед цветением
	4	Клубнеобразование	15—20 VII	450	4	Клубнеобразование
	5	То же	5—10 VIII	450	5	То же

аллювиальная равнина		Прииртышская озерно-аллювиальная равнина			
календарный срок поливов	полная норма (м³/га)	номер полива	срок полива по фазам развития растений	календарный срок поливов	полная норма (м³/га)
8	9	10	11	12	13
3—6 VI	350	1	Высадка	5—8 VI	350
12—14 VI	400	2	Перед цветением	14—17 VI	400
28 VI—1 VII	500	3	Начало завязывания плодов	30 VI—3 VII	450
17—20 VII	500	4	Начало плодоношения	19—22 VII	400
7—10 VIII	400	5	После первого сбора	9—12 VIII	400
17—20 VIII	350	6	После второго сбора	19—22 VIII	400
20—25 IV	350	1	Предпосевной	22—27 IV	400
20—25 V	400	2	После первого прореживания	22—27 V	450
15—20 VI	400	3	После второго прореживания	17—22 VI	500
5—10 VII	500	4	Период роста корня	10—15 VII	500
26—31 VII	400	5	То же	31 VII—5 VIII	450
15—20 VIII	350				
12—15 V	400	1	Предпосевной	14—17 V	400
8—10 VI	500	2	Появление 2—3-го листа	10—12 VI	400
22—25 VI	500	3	До начала цветения	24—27 VI	500
2—6 VII	500	4	Массовое плодоношение	4—7 VII	500
17—20 VII	500	5	То же	19—22 VII	500
2 VIII—5 VIII	400	6	„	4—7 VIII	400
20—25 V	350	1	По всходам	7—12 VI	400
5—10 VI	400	2	Перед цветением	2—7 VII	500
1—6 VII	500	3	Клубнеобразование	20—25 VII	550
20—25 VII	400	4	То же	5—10 VIII	500
10—15 VIII	350				

Культура	Приобская расчлененно-увалистая равнина			
	номер полива	срок полива по фазам развития растений	календарный срок поливов	поливная норма (м³/га)
1	14	15	16	17
Яровая пше- ница	1	Кущение	2—5 VI	400
	2	Трубкавание	16—19 VI	600
	3	Цветение	14—17 VII	600
Кукуруза на силос	1	Предпосевной	12—14 V	400
	2	Фаза 4—6-й лист	15—19 VI	600
	3	Перед выбрасыванием метелки	5—9 VII	600
	4	Формирование початка	9—14 VIII	500
Сахарная свек- ла	1	Предпосевной	4—9 V	400
	2	Период прорывки	14—19 VI	600
	3	Период роста ботвы, корня и накопления сахара	2—5 VII	600
	4	То же	21—24 VII	600
	5	"	11—14 VIII	500
Многолетние травы	1	Отрастание	4—9 V	600
	2	Прирост массы	31 V—5 VI	700
	3	Перед первым укосом	20—25 VI	700
	4	После укоса	7—12 VII	700
Капуста позд- няя	1	Высадка рассады	6—9 VI	400
	2	Приживание рас- сады	11—14 VI	400
	3	Развитие зеленой массы	26—29 VI	500
	4	Завивка кочана	11—14 VII	550
	5	Уплотнение ко- чана	26—29 VII	550
	6	Рост кочана	6—9 VIII	500
	7	То же	16—19 VIII	400
Томаты	1	Высадка	7—10 VI	500
	2	Перед цветением	16—19 VI	600
	3	Начало завязыва- ния плодов	2—5 VII	600
	4	Начало плодоно- шения	29 VII—I VIII	500

Северо-Кудунднская гривно-озерная равнина

номер полива	срок полива по фазам развития растений	календарный срок поливов	поливная норма (м ³ /га)
18	19	20	21
1	Кущение	4—7 VI	400
2	Трубкавание	19—21 VI	600
3	Цветение	17—20 VII	700
1	Предпосевной	14—16 V	500
2	Фаза 4—6-й лист	17—21 VI	600
3	Перед выбрасыванием метелки	7—11 VII	600
4	Формирование початка	11—16 VIII	500
1	Предпосевной	6—11 V	500
2	Период прорывки	16—21 VI	550
3	Период роста ботвы, корня и накопления сахара	4—7 VII	600
4	То же	23—26 VII	600
5	„	13—16 VIII	550
1	Отрастание	6—11 V	450
2	Прирост массы	2—7 VI	550
3	Перед первым укосом	24—29 VI	600
4	После укоса	10—14 VII	600
5	Прирост массы	31 VII—5 VIII	600
1	Высадка рассады	8—11 VI	400
2	Приживание рассады	13—16 VI	400
3	Развитие зеленой массы	28 VI—1 VII	500
4	Завивка кочана	13—16 VII	500
5	Уплотнение кочана	28—31 VII	550
6	Рост кочана	7—10 VIII	550
7	То же	17—20 VIII	500
1	Высадка	9—12 VI	400
2	Перед цветением	18—21 VI	500
3	Начало завязывания плодов	4—7 VII	500
4	Период плодоношения	27 VII—30 VII	500
5	После первого сбора	17—20 VIII	400

Культура	Приобская расчлененно-увалистая равнина			
	номер полива	срок полива по фазам развития растений	календарный срок поливов	поливная норма (м ³ /га)
1	14	15	16	17
Морковь	1	Предпосевной	24—29 IV	500
	2	После первого прореживания	24—29 V	500
	3	После второго прореживания	19—24 VI	600
	4	Период роста корня	15—20 VII	500
Огурцы	1	Предпосевной	16—19 V	500
	2	Появление 2—3-го листа	12—15 VI	500
	3	До начала цветения	27—30 VI	500
	4	Массовое плодоношение	7—10 VII	500
	5	То же	29 VII—1 VIII	500
Картофель	1	По всходам	9—14 VI	500
	2	Перед цветением	10—15 VII	600
	3	Клубнеобразование	2—7 VIII	600

Примечание. В таблице приведены сроки, нормы и число поливов для нием осадков количество поливов будет соответственно меньше. При поливе новые почвы, супеси) и от 350 до 400 м³/га (южные черноземы, суглинки).

Таблица 66

Коэффициенты полезного использования воды на поле при поливе дождеванием (Кулундинская опытная станция, 1965 г.)

Подано воды по участковому каналу брутто (м ³)	Подано воды во временные оросители (м ³)	Забор ДДН-45 (м ³)	Потери (м ³)			Коэффициент использования воды
			сброс	фильтрация	всего	
2641	2019	1847	311	173	484	0,82
3082	2439	2219	324	217	541	0,83
3584	2565	2337	513	229	742	0,79

По нашему мнению, в Центральной Кулунде и на правобережье Иртыша (легкие супесчаные каштановые почвы, поверхность практически без уклона) самым перспективным способом орошения

Северо-Кузудинская гривно-озерная равнина			
номер полива	срок полива по фазам развития растений	календарный срок поливов	поливная норма (м ³ /га)
18	19	20	21
1	Предпосевной	26 IV—1 V	400
2	После первого прореживания	26—31 V	400
3	После второго прореживания	20—25 VI	500
4	Период роста корня	12—17 VII	500
5	То же	2—7 VIII	400
1	Предпосевной	18—21 V	500
2	Появление 2—3-го листа	14—16 VI	500
3	До начала цветения	28 VI—1 VII	550
4	Массовое плодоношение	12—15 VII	550
5	То же	27—30 VII	500
1	По всходам	11—16 VI	550
2	Перед цветением	12—17 VII	600
3	Клубнеобразование	4—9 VIII	650

среднесухого года (обеспеченность 75%). В годы с благоприятным распределением дождей поливные нормы могут колебаться от 250 до 300 м³/га (кашта-

является дождевание. Сейчас чаще всего применяют дождевальные машины и агрегаты типа ДДН-45, ДДН-70 и ДДА-100 М.

Наряду с внедрением поливов дождеванием по-прежнему применяются поливы напуском по полосам и бороздной способ полива. Производительность труда при этих способах полива низкая (0,5—1 га на поливальщика). Поэтому в последние годы стремятся увеличить длину борозд и полос, автоматизировать распределение воды по бороздам путем применения трубок, сифонов, жестких и гибких полиэтиленовых труб, лотков и т. п. Применение трубок-сифонов повышает производительность труда поливальщиков в 2,5—3 раза. Трубки-сифоны позволяют точно дозировать подачу воды, что исключает сброс, повышается равномерность увлажнения.

Автоматизированное распределение воды по бороздам с помощью закрытых стационарных поливных трубопроводов рекомендует И. А. Шаров [256]. Этот прием заключается в том, что перпендикулярно оросительному каналу закладываются асбоцементные

или стальные трубы диаметром 100—150 мм на глубину 35—40 см с отверстиями диаметром 3—5 мм. Расстояние между отверстиями равно расстоянию между бороздами. В 1963 и 1964 гг. нами был испытан этот способ полива в Центральной Кулунде на полях Кулундинской опытной станции и в колхозе «Маяк» Ключевского района Алтайского края при поливе кукурузы. При этом весной (до весновспашки) были заложены на глубину 45 см жесткие полиэтиленовые трубы диаметром 100 мм с отверстиями диаметром 10 мм. При поливе подавали воду в трубопровод под давлением



Рис. 38. Автоматизация полива по бороздам с помощью жестких полиэтиленовых подземных трубопроводов (Центральная Кулунда, 1964 г.).

до 20 м водяного столба. На легких каштановых почвах (супесь) вода легко проходила через грунт и автоматически поступала в борозды длиной около 100 м (рис. 38).

Над закрытыми поливными трубопроводами образуются воронки размыва конусообразной формы. Размеры их зависят от механического состава грунта, глубины заложения трубопровода и диаметра поливного отверстия. При супесчаной засыпке, диаметрах отверстий 10 мм и глубине заложения трубопровода 40—45 см диаметр воронок размыва в наших опытах составлял 50—60 см. Воронки размыва вполне проходимы для сельскохозяйственных машин и орудий.

За счет замены открытой оросительной сети трубопроводами коэффициент земельного использования поля повысился в среднем на 6—7%. Затраты труда на полив в результате автоматизации снизились в 2—2,5 раза. Производительность пропашных тракторов на междурядных обработках в результате замены открытой оросительной сети трубопроводами повышается в среднем на 18—25%.

По изложенному принципу производится орошение сада в совхозе «Энгельсский» Саратовской области. Вода в трубопровод подается автоматически.

В 1959—1962 гг. Московский гидромелиоративный институт проводил испытания автоматизации поливов с помощью гибких полиэтиленовых трубопроводов. Вода из закрытых трубопроводов поступала в поливные полиэтиленовые трубопроводы, а из них через отверстия — в поливные борозды. После полива полиэтиленовый трубопровод сворачивают и переносят на другой участок поля. В результате отпала необходимость в нарезке и в заравнивании перед каждым поливом временных оросителей и выводных борозд.

В 1963 и 1964 гг. гибкие полиэтиленовые трубопроводы (шланги) диаметром 300 мм испытаны нами при поливе супесчаных каштановых почв Центральной Кулунды. Полив по бороздам оказался эффективным (табл. 67).

Таблица 67

Урожай зеленой массы кукурузы при поливе по бороздам с помощью гибких полиэтиленовых труб (колхоз «Маяк» Ключевского района Алтайского края)

Вариант	1963 г.		1964 г.	
	число поливов	урожай (ц/га)	число поливов	урожай (ц/га)
Контроль (без орошения)	—	60,0	—	144,0
Полив по бороздам с помощью полиэтиленовых трубопроводов	2	178,0	2	490,0

В условиях легких каштановых почв Центральной Кулунды и Павлодарского плато переносные поливные трубопроводы, безусловно, найдут применение в ирригации как один из способов автоматизации бороздного полива и как способ экономного использования дорогостоящих грунтовых вод при транспортировке их непосредственно на поливную карту.

5.7. Противофильтрационные мероприятия

Наземные водоемы и земляные каналы в Центральной Кулунде строятся на легких каштановых почвах (супеси и легкие суглинки). Коэффициенты фильтрации этих почв 1—2 м/сут. По опыту эксплуатации водоемов-копаней на ЕТС, при таких коэффициентах водоемы остаются без воды через 10—15 суток. С целью уменьшения потерь в земляных каналах следует предусмотреть систему противофильтрационных мероприятий.

Как показали исследования в 1961—1963 г.¹ (табл. 68), в Центральной Кулунде наиболее эффективным и экономически целесо-

¹ Исследования были начаты В. Е. Веденяниным в 1960 г. и продолжены автором в последующие годы.

Эффективность солонцевания в Центральной Кулунде (по данным опытов в каналах и водоемах за 1961—1963 гг.)

Почва	Коэффициент фильтрации до солонцева- ния K_1 (см/с)	Коэффициент фильтрации после солонце- вания K_2 (см/с)	$K = \frac{K_1}{K_2}$	Дозы соли $\frac{\text{NaCl}}{(\text{кг/м}^2)}$
Каштановая, супесчаная . . .	0,0036	0,00009	40	4,5
Темно-каштановая иловато-су- глинистая	0,0025	0,00004	62	3,0
Южный чернозем легкосугли- нистый	0,0015	0,00003	50	1,5

образным способом борьбы с фильтрацией из водоемов и земляных каналов следует считать солонцевание поверхностного слоя грунта с последующим уплотнением.

На светло-каштановых солонцеватых почвах в оросителе длиной 500 м потери до солонцевания составляли 15—20% на 1 км. После солонцевания они снизились до 2—3% на 1 км длины канала (норма соли в опытах составляла 3,0 кг/м²).

Для расчета потерь в осолонцованных каналах для Центральной Кулунды (для бескарбонатных грунтов) могут быть рекомендованы следующие отношения коэффициента фильтрации грунтов до и после солонцевания:

Для супесчаных грунтов . . . 20—40
 Для легкосуглинистых грунтов 40—50
 Для среднесуглинистых грун-
 тов 50—60

Стоимость солонцевания, по материалам исполнительной документации строительных организаций (Алтайводстрой), составляет 15—30 коп/м² смоченной поверхности канала.

5.8 Режим грунтовых вод на орошаемых массивах

На Алейской оросительной системе (АОС), расположенной в Алтайском крае, уровень грунтовых вод за 20 лет орошения (1933—1953 гг.) поднялся от 1,0 до 3,0 м. По наблюдениям К. Я. Феско [236] и Е. В. Стругалевой [220] в Рубцовском свеклосовхозе, в последующие годы (1954—1965) уровень стабилизировался в установившейся эксплуатации оросительной системы.

Аналогичное положение наблюдается и на мелких орошаемых участках в Центральной Кулунде при использовании подземных вод. Так, например, в колхозе «Маяк» Ключевского района Алтайского края в 1953 г. грунтовые воды на вновь построенном орошаемом участке залегали на глубине 3,1—3,2 м, а после десятилетнего непрерывного орошения напуском по полосам (кукуруза) и по бороздам (капуста) грунтовые воды поднялись на 90—100 см (1964 г.).

В результате многолетнего регулярного орошения (1954—1964 гг.) овощных культур в колхозе «Слава» этого же района уровень грунтовых вод на орошаемом массиве также поднялся в середине участка на 70—80 см, а в 10 м от распределительного канала — на 100—130 см (полив производился по глухим бороздам).

Однако при переходе на более совершенную технику полива (дождевание) заметного повышения уровня грунтовых вод на орошаемых массивах не наблюдается. Так, например, в результате наблюдений за уровнями грунтовых вод на орошаемом поле (48 га) Кулундинской опытной станции за 4 года (1963—1966) при поливе зерновых и овощных культур с помощью дождевания поливными нормами 300—350 м³/га уровень грунтовых вод не изменился.

Следовательно, при проектировании регулярного орошения в Кулундинской степи следует иметь в виду, что режим грунтовых вод на орошаемых массивах, особенно вблизи магистральных и распределительных каналов, может редко изменяться; здесь, по-видимому, следует устраивать лотковую распределительную сеть и повсеместное бетонирование постоянных каналов. На орошаемых массивах рекомендуется расширять полив дождеванием из закрытой распределительной сети.

Выводы

1. Ирригационный фонд для регулярного орошения Кулундинской степи при трех вариантах водозабора из р. Оби (8, 4 и 2 км³) оценивается соответственно величинами 2173, 1334 и 614 тыс. га.

2. Исследования теплового баланса и суммарного испарения орошаемого и неорошаемого полей яровой пшеницы с помощью теплобалансографа позволяют рассчитывать гидрометеорологическую эффективность ирригации, оценивать водные запасы и водопотребление сельскохозяйственного поля. По гидрометеорологическому показателю засухи, зависящему от увлажнения почвы, представляется возможным определить сроки и нормы полива различных сельскохозяйственных культур.

3. Метод оценки влагообеспеченности растений позволяет подойти к решению вопроса о создании оптимальных условий развития растений при возможно экономном использовании воды.

4. При неустойчивой обеспеченности естественными осадками необходимо применять гибкий режим орошения, изменяющийся в зависимости от метеорологических условий года, и дифференцированный для основных сельскохозяйственных культур с учетом глубин залегания пресных грунтовых вод.

5. Самым перспективным способом полива при регулярном орошении западной и центральной частей Кулундинской степи (легкие почвы, малые уклоны) является дождевание. На Приобском плато и в Северной Кулунде наряду с дождеванием следует применять поверхностные способы полива, автоматизируя распределение воды по длинным бороздам и полосам.

6.1. Агроэкономический эффект орошения

В Кулундинской степи, как и в других засушливых районах, поливы во все годы повышают урожай сельскохозяйственных культур. В засушливые годы при поливах урожай возрастает в несколько раз. Однако этот эффект необходимо сопоставлять с затратами на поливы и другие работы, связанные с орошением.

При существующей технике и организации орошения экономически наиболее выгодным является орошение технических культур, овощей и садов. Регулярное орошение яровой пшеницы в степных районах Западной Сибири дает сравнительно высокую себестоимость зерна и оправдывает себя только при ограниченном числе поливов (в Кулунде при трех поливах дождеванием) и при наличии дешевой оросительной воды.

Исследованиями И. Н. Шабалина [253], А. Г. Турбина, А. В. Иванова [229] и автора [152] установлено, что в Центральной Кулунде при поливе яровой пшеницы (Саратовская 29) дождеванием наиболее удачной является трехполивная схема орошения. Поливы проводятся в начале кущения, трубкования и перед цветением. Наибольший эффект дает первый послепосевной полив в фазу кущения, благодаря которому урожай увеличивается вдвое, а в засушливые годы — в три—пять раз по сравнению с богарой (табл. 69). Особенно эффективно орошение в сочетании с соответствующими удобрениями, которые способствуют повышению урожая в 1,5 раза и выше. Из приведенной таблицы также видно, что в условиях легких каштановых почв осенняя влагозарядка не эффективна не только в средние по обеспеченности осадками годы (1964), но и в засушливые (1963). Это объясняется весьма слабой водоудерживающей способностью легких супесчано-песчаных почв Центральной Кулунды. К аналогичному выводу пришел В. П. Панфилов [172, 173].

В условиях орошаемого земледелия Кулундинской степи наряду с зерновыми и кормовыми культурами большое значение могут иметь и многолетние травы (люцерна и эспарцет), урожай которых за два укоса на орошаемых землях составлял до 96 ц/га [253]. Весьма отзывчивы на полив овощные культуры, например, в хозяйствах Ключевского и Кулундинского районов Алтайского края на орошаемых участках собирают урожай капусты по 250—400 ц/га, моркови — по 300—330 ц/га, огурцов — по 250—300 ц/га, томатов — по 230—300 ц/га, томатов — по 230—310 ц/га, а в совхозе «Серебропольский» (п. Лебедино Кулундинского района)

Таблица 69

Влияние числа поливов дождеванием на урожай сельскохозяйственных культур на орошаемых участках Кулундинской опытной станции (по И. И. Бендеру)

Культура	Урожай (ц/га)				
	без орошения (контроль)	при одном полив	при двух поливах	при трех поливах	осенняя вла- гозарядка по 1000 м ³ /га
1963 г. (засушливый)					
Пшеница Лютеценс 758	2,5	8,6	13,6	25,3	2,6
Горох	1,7	5,3	11,7	—	—
Сахарная свекла	0,0	—	241	327	—
Кукуруза на зерно	10,1	—	19,5	—	—
1964 г. (средний)					
Пшеница Саратовская 29 без удобрения	13,2	—	18,0	22,0	13,0
Пшеница Саратовская 29 с удобрением	—	—	30,0	—	—
Кукуруза (на силос)	248	—	360	—	—

в 1964 г. урожай капусты на орошаемом участке составил 670 ц/га (на площади около 4 га).

Поливы овощей не только увеличивают урожай, но и значительно снижают себестоимость продукции. Так, например, в колхозе им. Кирова Славгородского района Алтайского края средняя себестоимость 1 ц овощей за два засушливых года (1962—1963) составила 7 руб. 58 коп. и каждый гектар поливных земель дал около 1000 руб. дохода. Сахарная свекла на поливе дает урожай 330—350 ц/га при себестоимости 1,5—2 руб. за 1 ц по сравнению с 40—60 ц/га и себестоимости 3,75—4,95 руб. на богаре [214].

На Приобском плато и в Северной Кулунде особенно эффективны поливы с помощью лиманного орошения. Исследования, проведенные в Родинском районе Алтайского края, показали, что при лиманном орошении возможны высокие урожаи силосных культур (кукуруза, подсолнечник), которые без орошения в сухие годы дают весьма низкие урожаи (20—50 ц/га) и не окупают затрат. Так, например, в засушливом 1965 г. на участке лиманного орошения (50 га) в колхозе им. Дзержинского Родинского района Алтайского края был выращен высокий урожай силосной массы кукурузы. На отдельных участках был получен урожай кукурузы сорта Славгородская 270 до 248 ц/га зеленой массы и 61 ц/га сухих початков, а кукурузы сорта Одесская 10 собрано соответственно 458 и 69 ц/га, в то время как без орошения был получен урожай в среднем 45 ц/га зеленой массы и 9 ц/га початков в молочно-восковой спелости.

6.2. Экономическая целесообразность орошения

Для сравнительной оценки экономической эффективности богарного и орошаемого земледелия сотрудниками Сибирского филиала ВНИИЭСХ и автором были определены три группы показателей, характеризующих использование земли как основного средства сельскохозяйственного производства: производительность труда, себестоимость продукции и окупаемость затрат [227]. Эти показатели определены путем анализа и нормативных расчетов на основе составленных технологических карт по вариантам различной интенсификации земледелия.

Капитальные вложения на строительство оросительной системы и мелиоративных сооружений приняты по разработкам Гипроводхоза. Затраты на сельскохозяйственное освоение определены по технологическим картам производства предполагаемых к возделыванию при орошении сельскохозяйственных культур. Себестоимость продукции определена по сумме прямых затрат с добавлением общепроизводственных и общехозяйственных накладных расходов с учетом изменения структуры посевных площадей.

Основным показателем эффективности богарного земледелия является урожайность возделываемых культур. В табл. 70 приведены данные об урожайности яровой пшеницы на фоне многолетнего гидротермического режима (ГТК) за май—июнь, по Г. Т. Селянинову, и влагообеспеченности, по А. В. Процерову. К. В. Кири-

Таблица 70

Многолетний гидротермический режим и средняя урожайность яровой пшеницы в Центральной Кулунде (Кулундинский район, Алтайского края)

Год	Сумма осадков с мая по июль (мм)	ГТК, по Селянинову, за май—июнь	Средняя влагообеспеченность, по Процерову (%)	Средняя урожайность по району (ц/га)	Год	Сумма осадков с мая по июль (мм)	ГТК, по Селянинову, за май—июнь	Средняя влагообеспеченность, по Процерову (%)	Средняя урожайность (ц/га)
1943	68,1	0,72	29	2,0	1958	178,4	1,32	66	15,2
1944	106,9	0,65	30	2,7	1959	65,2	0,91	37	7,2
1945	143,1	0,28	29	1,9	1960	96,3	1,07	42	9,5
1946	147,5	0,94	37	7,1	1961	99,2	0,99	42	9,5
1947	185,4	0,82	36	6,7	1962	55,7	0,65	33	4,9
1948	118,9	0,89	36	6,7	1963	26,8	0,17	28	0,7
1949	170,0	0,78	34	5,6	1964	65,3	0,39	35	6,4
1950	122,4	0,58	33	4,7	1965	55,6	0,12	29	1,7
1951	50,9	0,24	29	1,7	1966	124,9	1,43	38	7,9
1952	63,7	0,51	30	2,1	1967	138,7	0,28	30	2,6
1953	128,9	0,67	31	3,2	1968	117,2	0,25	33	4,8
1954	187,5	1,25	58	13,7	1969	45,4	0,42	31	3,2
1955	52,6	0,18	29	1,9	1970	73,2	0,49	31	5,4
1956	131,2	0,84	34	5,6					
1957	123,9	0,67	34	5,3	Среднее	106,8	0,68	34,3	5,2

licheva [90] установила наличие тесной связи урожайности с влагообеспеченностью, рассчитанной по методу Процера. Она считает, что этот метод может быть использован для характеристики агроклиматических условий формирования урожая яровой пшеницы в Западной Сибири. Эти выводы подтверждаются данными табл. 70. Из таблицы также видно, что в 50% случаев в Центральной Кулунде урожай яровой пшеницы составил менее 5 ц/га. Все эти годы совпадают с минимумом атмосферных осадков при понижении ГТК до 0,5 и ниже (0,12) и влагообеспеченности до 28—33%. В годы особенно острой засухи (1951, 1955, 1963 и 1965) урожай зерна составлял менее 2 ц/га¹. Максимальные же урожай зерна совпадают с годами обильных осадков и повышением ГТК до 1,25—1,32 и влагообеспеченности до 66% и выше. Так, например, в 1954 и 1958 гг., когда за май—август осадков выпало около 200 мм, урожай яровой пшеницы составил в Алтайской Кулунде в среднем около 15 ц/га. Достижение такого уровня урожайности на всей предполагаемой площади орошения Кулунды (1,2 млн. га) позволит ежегодно получать 75—90 млн. пудов дополнительного товарного зерна лучших по хлебопекарным качествам твердых и сильных сортов яровой пшеницы. Это составит примерно $\frac{1}{3}$ фактически поставляемого государству зерна всех культур колхозами и совхозами Алтая или столько же, сколько его сдает вся Новосибирская область в лучшие по урожайности годы (1958).

Неустойчивые урожаи в богарном земледелии неизбежно влекут за собой частые спады в развитии животноводческих отраслей, падеж скота и снижение его продуктивности. По данным Алтайской краевой плановой комиссии, в результате двухлетней засухи в 1962 и 1963 гг. поголовье продуктивного скота в колхозах и совхозах Кулундинской зоны Алтая за два неурожайных года (1962 и 1963) значительно сократилось. Восстановить это поголовье удалось лишь в 1967 г., а продуктивность скота, в частности, надой молока на фуражную корову, даже позднее — в 1968 г. Восстановление численного поголовья скота и его продуктивности происходит за период, равный примерно двойной длительности засухи, что приводит к задержке расширенного производства. Следовательно, создание устойчивых урожаев в Кулундинской степи — задача первостепенной важности.

Кулундинская степь является основным объектом орошения в Западной Сибири. Обоснование же площадей орошения по этапам (1975, 1980 и 2000 гг.) мы выполняем для всей засушливой зоны Западной Сибири.

Недобор продукции со всей площади пашни засушливой (7,97 млн. га) и острозасушливой (0,27 млн. га) зон Западной Сибири с учетом 35%-ной повторяемости лет ниже среднего уровня условно составляет:

¹ Аналогичные данные получены для Центральной Кулунды (см. рис. 3) за более длительный период (1900—1970 гг.).

Зона увлажнения	Потери за десятилетний период		
	зерно (тыс. т)	корма (тыс. т кормовых единиц)	стоимость всех видов продукции в закупочных ценах (млн. руб.)
Засушливая	12 247	10 490	2287
Острозасушливая . . .	4 196	3 594	784
Всего	16 443	14 084	3071

Расчеты показывают, что для покрытия всего недобора урожая за 10-летний период потребуется около 850 тыс. га орошаемых земель, а для погашения ущерба, наносимого в засушливые годы, — 500 тыс. га.

В исходных положениях СОПС при Госплане СССР для разработки схемы развития и размещения сельского хозяйства на перспективу принята площадь орошения в засушливых зонах Западной Сибири (Кулундинская степь) 495 тыс. га.

С учетом изложенного, исходя из наличия водно-земельных ресурсов, к 1980 г.¹ ориентировочно намечено проведение ирригационных мероприятий в Кулундинской степи на площади 700—800 тыс. га, а к 2000 г. — свыше 1,5 млн. га, из них 1,2 млн. га регулярного орошения из р. Оби, 100 тыс. га за счет использования подземных вод четвертичных отложений и 200—300 тыс. га лиманного орошения.

На площадь 1,2 млн. га пашни нетто, проектируемой Ленгипроводхозом в Кулундинской степи под регулярное орошение из р. Оби (вариант с водозабором 4 км³), было составлено и рассчитано семь вариантов с различным уровнем интенсификации: исходный вариант — 0 — по достигнутому современному многолетнему уровню развития производства и соответствующих ему урожайности, структуре посевных площадей и затратам овеществленного и живого труда, определяющих себестоимость единицы продукции; перспективный вариант I, но тоже в условиях богарного земледелия; перспективный вариант II в условиях орошаемого земледелия с относительно невысокой химизацией; перспективный орошаемый вариант III с достаточной химизацией по внесению органических и минеральных удобрений.

Дополнительно разработан вариант IV — орошение 100 тыс. га пашни подземными водами, вариант V — лиманное орошение на площади 250 тыс. га и вариант VI — орошение с высоким уровнем интенсификации (на отдаленную перспективу, к 1980—2000 гг.).

В соответствии с вышеизложенным дополнительно рассчитана экономическая эффективность орошения в Кулундинской степи при

¹ До 1975 г. рост орошаемых площадей в Кулунде предполагается исключительно за счет использования для орошения подземных вод (50—60 тыс. га), местного стока для регулярного (20 тыс. га) и лиманного (100—120 тыс. га) орошения.

комплексном использовании воды р. Оби, местного стока и подземных вод. При этом исходим из гипотезы, что такое решение проблемы позволит расширить орошаемую площадь с минимальными капитальными затратами и существенно повысит общий коэффициент рентабельности.

Исходя из гидрогеологических условий в Центральной Кулунде представляется реальным оросить подземными водами 100 тыс. га пашни (в течение ближайших 10 лет). Площадь лиманного орошения местным стоком определена в 250 тыс. га, из них — 80 тыс. га пашни, 110 тыс. га сенокосов и 60 тыс. га культурных пастбищных угодий. Всего, таким образом, добавляется 350 тыс. га орошаемой площади, из которых 180 тыс. га пашни предполагается освоить под интенсивные кормовые, овоще-бахчевые севообороты, а также плодово-ягодные культуры (на площади 4 тыс. га).

Для определения стоимости годового производства валовой продукции по исходному варианту была установлена средневзвешенная по трем частям Кулундинской зоны фактическая урожайность за 10 лет (1954—1963). Урожайность культур по различным вариантам установлена на основе экономического обоснования на примере главной товарной культуры Кулундинской степи — яровой пшеницы (табл. 71).

При установлении перспективной урожайности пшеницы в случае орошаемого земледелия были учтены опытные данные научных учреждений и прибавка урожайности на всей площади орошения по сравнению с урожайностью в тех же хозяйствах на неполивных посевах в целом по РСФСР и УССР. Для выявления сравнительной экономической эффективности богарного и орошаемого земледелия были определены другие нормативные показатели (табл. 72). Основные показатели роста производства по каждому из вариантов определяются по табл. 73. Данные табл. 73 и расчеты по соответствующим формулам на основе приведенных нормативов показывают, что на ближайшую перспективу даже с учетом использования передовой технологии возделывания сельскохозяйственных культур при богарном земледелии реально возможно повысить производство валовой продукции только в 1,6 раза при снижении затрат на 26 % [227].

В орошаемом земледелии (вариант II) по сравнению с исходным вариантом 0 обеспечивается рост производства всей продукции в 4,3 раза, в том числе по фуражной части урожая в шесть раз, а вся сумма произведенных затрат при этом возрастает только в два раза. В варианте VI со структурой посевных площадей, аналогичной инженерной Алейской оросительной системе (Алтайский край), обеспечивается рост производства всей продукции в 7,7 раза по сравнению с исходным вариантом.

Организация поливного земледелия на площади 1,55 млн. га в сочетании с богарным земледелием на остальной площади позволяет поднять производство продукции в Кулундинской степи на 107 %, т. е. более чем вдвое.

Таблица 71

Обоснование урожайности яровой пшеницы на перспективу в Кулундинской степи (ц/га)

Показатель	Часть Кулундинской зоны			Средневзвешенная по зоне
	алтайская	новосибирская	павлодарская	
Фактическая урожайность по отчетам колхозов и совхозов (1954—1963 гг.) вариант 0	8,4	7,7	6,5	7,5
Урожайность в типичных хозяйствах (1958—1962 гг.)	9,1	7,6	7,4	—
Урожайность на Госсортоучастках (1954—1963 гг.)	10,6	11,5	9,7	—
Урожайность на перспективу (1975 г.) в условиях богарного земледелия, вариант I	12,0	11,5	10,5	11,2
Фактическая урожайность на Рубцовском опытном орошаемом участке (1949—1963 гг.)	19,0	—	—	19,0
Средняя прибавка урожая зерновых на всей площади орошения по сравнению с богарной за 1963 г. (зерновые)	—	—	—	7,1
по данным ЦСУ РСФСР	—	—	—	8,1
по данным ЦСУ УССР	—	—	—	—
Урожайность опытного хозяйства АНИИСХОЗа (Ключевской район, сорт Саратовская 29) за 1963—1965 гг.	—	—	—	—
без удобрения	25,5	—	—	25,5
полная норма удобрений	30	—	—	30
Урожайность при орошении:	—	—	—	—
вариант II	20	20	19	19,5
вариант III	26	26	24	25
вариант VI	36	36	33	35

Таблица 72

Основные расчетные нормативы интенсификации вариантов богарного и орошаемого земледелия в Кулундинской степи

Показатель	Вариант	Культура					Травы на сено	
		зерновые	кукуруза	овоще-бахчевые	сахарная свекла	картофель	многолетнее	однолетнее
Урожайность (ц/га)	0	7,4	62	36	34	23	5	7
	I	11,2	140	120	80	100	12	15
	II	19,5	350	240	300	200	46	35
	III	25,0	400	300	400	250	70	35
	IV	25,0	350	350	300	200	70	35
	V	—	250	—	—	200	—	24
	VI	35,0	400	350	400	250	70	35

Показатель	Вариант	Культура					Травы на сено	
		зерновые	кукуруза	овоще-бахчевые	сахарная свекла	картофель	многолетние	однолетние
Затраты труда на 1 т продукции (чел.-дни)	0	2,7	0,5	42	9,8	8,9	2,0	3,0
	I	1,0	0,17	3,0	1,8	1,8	0,66	0,66
	II	0,98	0,15	1,2	0,9	1,5	0,64	0,65
	III	0,86	0,14	1,0	0,7	1,4	0,57	0,50
	IV	0,86	0,16	0,9	0,9	1,5	0,61	0,65
	V	—	0,19	—	—	1,5	—	0,70
	VI	0,60	0,16	0,9	0,7	1,4	0,61	0,65
Себестоимость 1 т (руб.)	0	50,4	10	218	32,2	66	18,5	20,8
	I	22,6	4,9	24,8	16,9	25,5	9,8	9,5
	II	21,0	3,0	15,5	9,1	16,9	8,9	9,0
	III	20,5	3,0	12,2	7,9	14,3	7,7	9,0
	IV	20,5	3,2	12,0	9,1	16,9	8,1	9,0
	V	—	3,4	—	—	16,9	—	10,0
	VI	16,5	3,2	12,0	7,9	14,3	8,1	9,0
Удельный вес посевных площадей (%)	0	73,7	8,4	0,2	0,2	0,3	6,5	6,3
	I	67,8	12,8	0,3	0,5	0,4	7,2	1,8
	II	59,5	12,4	2,0	2,0	3,1	18,0	3,0
	III	59,5	12,4	2,0	2,0	3,1	18,0	3,0
	IV	12	12	12	12	12	18,0	18
	V	—	15,2	—	—	3,6	34	47,2
	VI	47,3	10,0	2,9	14,1	3,0	14,7	3,0

Таблица 73

Рост производства сельскохозяйственной продукции при различном уровне интенсификации земледелия в Кулунде

Показатель	Вариант интенсификации и расчета						
	0	I	II	III	IV	V	VI
Продукция земледелия							
тыс. т. корм. ед.	862,2	1223,6	3297,8	4658,6	439	383	6686
млн. руб.	51,5	80,1	221,3	304,4	88,8	15,3	574,0
%	100	156	430	591	—	—	774
Корма (фуражная часть)							
тыс. т. корм. ед.	342,7	571,2	1980,6	3000,7	281	383	3328
%	100	166,7	581	870	—	—	974

Земледелие в Кулундинской степи в целом примет устойчивый характер за счет создания в хозяйствах участков гарантированного урожая не только товарных, но и кормовых культур, что предотвратит спад в развитии животноводческих отраслей.

При поливном земледелии в Кулундинской степи представится возможность возделывать высокодоходные культуры: овоще-бахчевые, картофель, сахарную свеклу, плодово-ягодные, которые весьма отзывчивы на орошение и обеспечивают более высокий экономический эффект.

Вместе с тем при относительном росте посевных площадей и производства продукции интенсивных культур их абсолютные площади в большинстве хозяйств будут небольшими, так как особенно сильное их расширение окажется непосильным в ближайшее время для освоения ввиду низкой обеспеченности трудовыми ресурсами (два-три человека на 100 га сельхозугодий). Поэтому в ближайшем будущем ведущей отраслью, определяющей ее специализацию, будет зерновое производство.

Для определения коэффициента эффективности капитальных вложений в ирригационное строительство и его сельскохозяйственное освоение сумма потребных капиталовложений для основного орошаемого варианта II составляет 1520 млн. руб. По дополнительному варианту IV капиталовложения определяются суммой 814 руб/га, а по варианту V 75 руб/га. В перспективе ирригационные каналы из Оби будут служить не только для орошения, но и для обводнения и водоснабжения Павлодарско-Экибастузского промышленного узла, что позволит уменьшить затраты на орошение.

Для варианта II коэффициент эффективности капитальных вложений $K_{эф}$ в ирригационное строительство и его сельскохозяйственное освоение оказался равным:

$$K_{эф} = \frac{\Pi - Сб}{K_{стр} + K_{осв}} = \frac{221,3 - 85,4}{1100 + 420} = 0,09, \quad (58)$$

где Π — стоимость годовой продукции (в закупочных ценах); $Сб$ — себестоимость продукции; $K_{стр}$ — капитальные вложения в мелиоративное строительство; $K_{осв}$ — капитальные вложения в сельскохозяйственное освоение.

Окупаемость капитальных вложений обеспечивается за 11 лет.

Для варианта III $K_{эф} = 0,134$. Нетрудно установить, что полученная величина $K_{эф}$ для указанных вариантов орошения Кулунды водами Оби ниже, чем для систем орошения риса (0,17). Но $K_{эф}$ может быть значительно повышен при сочетании орошения водами Оби с использованием подземных вод (вариант IV) и лиманного орошения (вариант V).

Коэффициент эффективности капиталовложений при комбинированном орошении (варианты II, IV, V) в данном случае равняется

$$K_{эф} = \frac{(221,3 + 104,1) - (85,4 + 26,9)}{1520 + 100,4} = 0,132.$$

Для вариантов III, IV и V $K_{\text{эф}}=0,173$. Срок окупаемости капиталовложений в строительство и освоение оросительных систем в этих случаях составит 6—8 лет, а совокупный коэффициент эффективности капиталовложений при комбинированном орошении по вариантам VI, IV и V будет равен 0,31, т. е. окупаемость затрат в 3—4 года.

Следовательно, уже на данной стадии разработки проблемы на основании экономических расчетов можно утверждать, что орошение в засушливой Кулунде высоко эффективно. Оно обеспечит увеличение производства продукции с затратами в пределах средних по другим районам орошения страны. В подтверждение этого вывода в табл. 74 приводим сравнительные данные по основным экономическим показателям орошения Кулундинской степи и других степных районов страны (обобщенные данные проектов).

Таблица 74

Урожайность яровой пшеницы, себестоимость продукции и затраты труда при орошении дождеванием в юго-восточных районах страны и в Кулундинской степи

Область, степь	Почвы	Урожайность зерна (ц/га)	Себестоимость 1 т (руб.)	Затраты труда на 1 т продукции (чел.-дни)
Саратовская область	Каштановые	26,0	21,0	0,98
Волгоградская область	Южные черноземы солонцеватые	24,0	22,0	1,12
Юг Украины	Черноземы	29,0	20,4	0,92
Ростовская область	Каштановые	27,0	21,5	0,90
Хакасия (Красноярский край)	Южные черноземы	25,0	27,0	1,28
Алейская оросительная система (Алтайский край)	То же	26,0	20,0	0,90
Кулундинская степь	"	26,0	20,0	0,85
	Каштановые	24,0	21,0	0,88

6.3. Сельскохозяйственное освоение орошаемых земель

С целью ускорения сроков окупаемости капитальных вложений целесообразно орошаемые площади осваивать по этапам, начиная с земельных массивов, которые требуют наименьшего объема мелiorативного строительства и капиталовложений. При этом на первом этапе переход на орошаемое земледелие будет осуществляться сразу во многих совхозах и колхозах за счет лиманного орошения на местном стоке, регулярного орошения из малых рек и забором подземных вод нижнечетвертичных отложений.

Привлечение совхозов и колхозов позволит ускорить освоение орошаемых земель и будет способствовать подготовке специали-

стов к работе по новой технологии орошаемого земледелия. Параллельно с этим на первом этапе освоения необходимо в каждом из пяти гидромелиоративных районов создать опытно-производственные орошаемые участки для пропаганды достижений науки и передового опыта и создания базы научно-исследовательских работ в производственных условиях.

На втором этапе по мере завершения строительства ирригационной сети и подвода воды из Оби будет, очевидно, более целесообразно организовать сельскохозяйственное освоение концентрированно, на крупных земельных массивах в порядке очередности отдельных совхозов и колхозов с одновременной организацией управлений по эксплуатации оросительных систем.

При планировании и проектировании орошения в Кулундинской степи на ближайшую перспективу следует ориентироваться на полив интенсивных и кормовых культур: кукурузы, сахарной свеклы, люцерны, гороха, овощей, плодово-ягодных культур и др. Этим самым будет высвобождена большая площадь из-под кормовых культур под посевы яровой пшеницы на богаре. Такое размещение посевов на орошаемых площадях имеет преимущество, так как при этом представляется возможность добиться наиболее целесообразного в экономическом отношении решения задач поливного и богарного земледелия.

Предварительные расчеты показывают, что наибольший экономический эффект от орошения получается при поливе сахарной свеклы. Себестоимость ее при орошении оказывается значительно ниже, чем без орошения (в сухие годы сахарная свекла на богаре не дает даже всходов), а дополнительный чистый доход за 1—2 года окупает все дополнительные капитальные вложения, связанные с орошением [78].

В Кулундинской степи на орошаемых землях следует культивировать люцерну синегибридную на корм скоту (сено) и для производства семян. Посевы люцерны на орошаемых землях способствуют обеспечению семенами богарных участков, подверженных ветровой эрозии.

Выводы

1. На первой стадии освоения (до 1975 г.), 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 с забором воды из Новосибирского водохранилища. Площадь орошаемых участков (при регулярном орошении) в этом случае ориентировочно может составлять 300—400 га на хозяйство (участки гарантированного урожая и страхового запаса кормов).

2. На второй стадии освоения орошаемых земель в Кулундинской степи (1975—1980 гг.), после постройки крупных оросительных систем из р. Оби, целесообразно, по нашему мнению, органи-

зовать специализированные совхозы с массивами орошения 5—8 тыс. га в каждом. Это позволит легче организовать управление, автоматизацию и телемеханизацию на оросительных системах.

3. При дальнейшей разработке вопросов экономики орошаемого земледелия применительно к условиям Кулундинской степи следует широко пользоваться экономико-математическими методами с применением современных электронно-вычислительных машин [182]. При применении математических методов можно более качественно определять такие важные экономические характеристики, как дополнительный чистый доход от орошения, структура посевных площадей, организация поливов. Результаты численного расчета для разных вариантов позволят проводить глубокий качественный анализ и давать более обоснованные рекомендации для практического внедрения в производство.

7.1. Сущность и состояние вопроса

Попытка районирования территории Кулундинской степи на основе учета всего многообразия природных ландшафтов имеет свою историю. Однако это районирование носит или очень схематичный характер, или опирается на анализ какого-либо одного из природных факторов (растительности, почв, климата). К первой группе следует отнести естественно-историческое районирование, предложенное в 1947 г. С. Г. Струмилиным и И. С. Лупиновичем [219]. Ко второй — физико-географическое районирование Б. П. Алисова [8], Н. А. Гвоздецкого и Н. И. Михайлова [48], ботанико-географическое районирование, почвенно-географическое районирование К. П. Горшенина [52], С. Н. Селякова [201], Н. В. Орловского [167] и др.

Всесторонний учет совокупности естественно-исторических факторов для Алтайского края и оценка в связи с этим хозяйственно-экономических и природных особенностей территории была сделана А. М. Шульгиным [265], Н. И. Базилевич [17], Г. В. Заниным [75] и др.

В работах В. В. Орловой [166] обобщены данные о климате Западной Сибири, а в работах А. П. Слядиева [209] даны географические основы климатического районирования и опыт их применения на юго-востоке Западно-Сибирской равнины. В. С. Мезенцев [135] предложил метод гидролого-климатических расчетов и произвел районирование Западно-Сибирской равнины по признакам увлажнения и теплообеспеченности. В одной из последних работ В. С. Мезенцев, И. В. Карнацевич [136] дали количественную характеристику основных элементов водного и теплового баланса по зонам Западно-Сибирской равнины в связи с задачами мелиорации этой территории.

Агроклиматические условия Западной Сибири приведены в сборнике «Агроклиматические и водные ресурсы районов освоения целинных и залежных земель» (Л., Гидрометеиздат, 1955). Здесь же дано районирование по термическому режиму, осадкам, условиям вегетационного периода и агроклиматическое районирование, С. А. Вериги и Л. А. Разумова [41] на основе особенностей динамики запасов продуктивной влаги для зерновых культур в СССР выделили четыре агрогидрологические зоны: обводнения, капиллярного увлажнения, полного весеннего промачивания и слабого весеннего промачивания. Кулундинскую степь эти авторы отнесли к зоне слабого весеннего промачивания.

Почвенно-мелиоративный очерк Кулундинской степи был впервые составлен И. П. Герасимовым [50] на основании работ экспедиции Почвенного института АН СССР в 1933—1934 гг. В 1955 г. Ленгипроводхоз составил схематическую карту гидрогеологического и почвенно-мелиоративного районирования зоны проектируемого орошения Кулундинской степи. По материалам Степной экспедиции Западно-Сибирского геологического управления и Западно-Сибирского филиала АН СССР [22], на территории Кулундинской степи выделено 11 основных почвенно-мелиоративных районов и девять подрайонов, нанесенных на схематическую карту. Р. В. Ковалев, П. С. Панин, В. П. Панфилов, С. Н. Селяков [92] на основе многолетних исследований Биологического института Сибирского отделения АН СССР разработали схему почвенно-мелиоративного районирования южной части Обь-Иртышского междуречья. Все эти материалы, несомненно, представляют научный и практический интерес, пополняя и углубляя накопленные знания об интересующей нас территории. В основу почвенно-мелиоративного районирования Кулундинской степи во всех упомянутых работах положены почвенные и гидрогеологические условия различных геоморфологических районов.

7.2. Районирование по водным ресурсам и их возможному использованию

В 1961 г. автор составил схематическую карту районирования Кулундинской степи по наличию местных водных ресурсов и их возможному использованию в ближайшем будущем. В работе [151] изложены рекомендации по использованию местного стока (поверхностного и подземного) для четырех основных геоморфологических районов Кулундинской степи на первом этапе ее освоения без привлечения обских вод и строительства крупных оросительных систем (рис. 39).

На Приобском плато выпадает осадков 300—350 мм в год; весенний сток составляет 30—50 мм. Подземные воды залегают на глубине 100 м и более. Дебит скважин 1—3 м³/ч. Возможно использование весеннего стока в мелководных и глубоководных лиманах, прудах и водохранилищах, в руслах балок и мелких рек, а также локальное использование вод р. Оби (механический водоподъем).

На Кулундинской аллювиальной равнине годовое количество осадков в среднем составляет около 250 мм, весенний сток практически отсутствует; уклоны земной поверхности весьма незначительны (менее 0,001). Близко к поверхности (5—20 м) залегают пресные подземные воды нижнечетвертичного водоносного горизонта. Дебит скважин — 60—120 м³/ч хорошей по качеству воды. Водохозяйственные мероприятия здесь в ближайшие годы могут быть основаны на использовании подземных вод нижнечетвертичных отложений. Для обводнения и частичного орошения (при определенной минерализации воды) можно также использовать арте-

зианские воды третичных и верхнемеловых отложений, которые вскрываются на глубине от 300 до 1000 м.

В Северной Кулунде выпадает сравнительно больше осадков, меньше испаряемость, близко к поверхности залегают грунтовые воды и водоупор, имеется много горько-соленых и пресных озер, особенно в поймах рек. Колодцы здесь малodeбитны, и грунтовые воды нередко обладают высокой минерализацией (5—10 г/л). Для

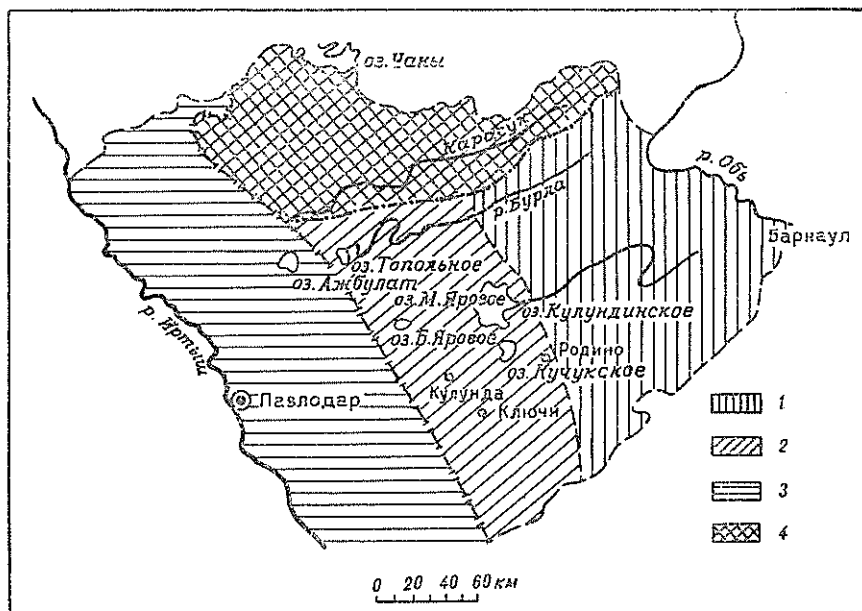


Рис. 39. Районирование Кулунды по водным ресурсам и их возможному использованию.

1 — Приобское плато (лиманное орошение и обводнение путем строительства прудов и водоемов), 2 — Кулундинская аллювиальная равнина (орошение подземными водами), 3 — Павлодарское плато (обводнение подземными и поверхностными водами, лиманное орошение и регулярное орошение с водозабором из р. Иртыша), 4 — Северная Кулунда (использование весеннего поверхностного стока и комплексные мелиорации на водосборах пресных и соленых озер).

территории Северной Кулунды необходимы не только обводнительно-оросительные, но и осушительные мероприятия. На водосборах пресных и соленых озер целесообразно осуществлять комплексные мелиорации.

Павлодарское плато по характеру рельефа и величине весеннего стока занимает среднее положение между Приобским плато и Кулундинской аллювиальной равниной. Грунтовые и подземные воды здесь доступны для обводнения и локального орошения. На некоторых малых водосборах можно использовать весенний сток для устройства мелководных ярусных лиманов. Близость Иртыша позволяет использовать также и воды этой мощной водной артерии для орошения овощных и кормовых культур.

7.3. Природно-мелиоративное районирование

На основе методики, изложенной в работе И. П. Чалая и А. М. Шульгина [245], составлена схематическая карта природно-мелиоративного районирования Обь-Иртышского междуречья (рис. 40). Каждой таксономической единице свойствен свой комплекс мелиорации (агротехнических, лесомелиоративных, гидротехнических, агрохимических и др.), проведение которых в определенных сочетаниях может быть очень эффективным. При проведении того или иного комплекса мелиораций нужно учитывать особенности природной среды, которые в свою очередь влияют на специфику каждого вида мелиораций.

На рис. 40 буквенные обозначения указывают на основные виды мелиораций: *А* — агротехнические, *Л* — лесомелиоративные, *Г* — гидротехнические, *А_х* — агрохимические, *Г_п* — гидротехнические противоэрозионные; *К_п*, *К_с* — комплексные мелиорации на водосборах пресных и соленых озер; *О_д*, *О_р*, *О_л* — соответственно орошение дождеванием, поверхностное регулярное и лиманное.

Цифровые индексы показывают очередность, важность и сложность проведения того или иного вида мелиорации в зависимости от взаимодействия природных процессов, которые вызвали необходимость применения этих мелиораций. Так, например, индекс *А'* говорит о том, что агротехнические мелиорации должны применяться в первую очередь и будут охватывать наибольшие площади в пределах данного региона; индекс *А''* показывает, что этот вид мелиорации может быть осуществлен на сравнительно меньшей площади и не в первую очередь.

Последовательность буквенных обозначений соответствует, по А. М. Шульгину, месту мелиорации в общем комплексе мер и показывает на набор разных видов мелиораций, требующих их проведения в том или ином мелиоративном районе (на карте районы обозначены арабскими цифрами 1—25).

Климатические ландшафтные подзоны выделены на основе работы А. П. Сляднева [209].

7.4. Комплексное гидромелиоративное районирование

На основании литературных источников, а также вновь собранного фактического материала в процессе полевых экспедиционных работ автора в составе Кулундинской экспедиции Сибирского отделения АН СССР (1960—1966 гг.) и Алтайской комплексной экспедиции МГУ (1967—1971 гг.) составлена схематическая карта гидромелиоративного районирования Кулундинской степи (рис. 41). Предварительные результаты этой работы и схема гидромелиоративного районирования Кулунды были опубликованы в работе [153]. В настоящее время эта работа уточнена и существенно дополнена новыми материалами исследований.

Целью предложенного мелиоративного районирования является удовлетворение запросов сельскохозяйственного производства

Схема гидромелиоративного

Подрайон	Общая площадь (тыс. га)	Преобладающая абсолютная высота (м)	Рельеф и микро- рельеф	Преобладаю- щий тип почв	Почвообразующая и подстилающая порода
1	2	3	4	5	6

І. Центрально-Кулундинская

І ₁ Успенский	313,4	120—135	Волнисто-равнинный со слабовыраженным микро-рельефом	Каштановые	Супеси, желтобурые, карбонатные, пески желто-бурые мелкозернистые прослоями крупнозернистых
І ₂ Славгородский	574,0	110—140	Слабоволнисто-равнинный	То же	Супеси желтобурые, карбонатные; суглинки желто-бурые, карбонатные
І ₃ Бурлинско-Славгородский	94,6	120—140	Слабоволнистый с ярко выраженным микро-рельефом	Южные черноземы и каштановые	Суглинки желтобурые, карбонатные; пески мелкозернистые с прослоями крупнозернистых
І ₄ Бурлинский	87,5	100—110	Плоско-пониженно-равнинный	То же	Суглинки желтобурые, местами лёссовидные; супеси желтые, карбонатные
І ₅ Малоярвской	72,3	110—115	Слабоволнистый пониженный	Каштановые, южные черноземы	Супеси желтые, карбонатные, мелкопесчаные, средне- и крупнопесчаные
І ₆ Каипский	184,8	120—150	Волнисто-равнинный с резко выраженным микро-рельефом	Солонцы, солончаки и каштановые	Супеси желтобурые и палевые; карбонатные; суглинки желтобурые, на отдельных участках с прослоями песков

районирования Кулундинской степи

Мелиоративные свойства почво-грунтов				Почвенно-грунтовые воды		
наименьшая влагоемкость (мм) активного слоя почвы		скорость впитывания (мм/ч)		глубина залегания на возвышениях, в понижениях	плотный остаток (г/л)	характер засоления (по К. В. Филатову)
0—60 см	0—100 см	за первый час	коэффициент фильтрации			
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
118,0	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
—	2710	35,7	7,2	$\frac{3-5}{1-2}$	<1, на отдельных участках 3—5	То же

Подрайон	Общая площадь (тыс. га)	Преобладающая абсолютная высота (м)	Рельеф и микро- рельеф	Преобладаю- щий тип почв	Почвообразующая и подстилающая порода
1	2	3	4	5	6
I ₇ Кучук-Ку- лундинский	113,4	100—110	Равнинно-по- ниженный со слабым ми- крорелье- фом	Солонцы, солончаки	Суглинки желто- бурые, карбо- натные; супеси желтые, мелко- песчаные, сред- не- и крупно- песчаные

II. Павлодарская плоско-

II ₁ Щербак- типский	713,4	140—150	Слабоволнист- ый без яс- но выражен- ного микро- рельефа	Каштановые	Супесчаные, под- стилаемые пес- чано-галеchnи- ковыми отложе- ниями
II ₂ Павлодар- ский	213,4	130—150	Слабоволнист- ый с ясно выраженным микрорелье- фом	То же	То же
II ₃ Приборо- вой	486,5	140—160	Слабоволнист- ый с ясно выраженным микрорелье- фом и мезо- рельефом	„	Супесчаные, под- стилаемые пес- чано-галеchnи- ковыми отложе- ниями, местами суглинистые
II ₄ Боровой	394,6	150—220	Бугристо-гря- довый, вол- нистый с рез- ко выражен- ным мезо- рельефом	Боровые подзоли- стые, солон- цы и солон- чаки у озер	Пески, супеси, легкие суглин- ки, подстилае- мые песчано-га- лечниковыми отложениями

III. Прииртышская озерно-

III ₁ Приир- тышский по- ниженный	315,2	100—115	Плоско-рав- нинный и грядный с резко выра- женным ми- крорельефом	Каштановые	Супесчаные, под- стилаемые пес- чано-галеchnи- ковыми отло- жениями
--	-------	---------	--	------------	---

Мелиоративные свойства почво-грунтов				Почвенно-грунтовые воды		
наименьшая влажность (мм) активного слоя почвы		скорость впитывания (мм/ч)		глубина залегания на возвышениях, в понижениях	плотный остаток (г/л)	характер засоления (по К. В. Филатову)
0—60 см	0—100 см	за первый час	коэффициент фильтрации			
7	8	9	10	11	12	13
—	2850	10,4	2,1	$\frac{3-4}{1-1,5}$	<3, на отдельных участках 3—5, имеются <1	На севере гидрокарбонатное с участками хлоридных, сульфатных вод, на юге сульфатное с участием хлоридных

волнистая равнина

112,0	169,0	154	54	$\frac{10}{2-5}$	<1, на отдельных участках <3	Гидрокарбонатное, с участками хлоридных и гидрокарбонатных вод
117,0	173,0	148	48	$\frac{5-10}{1-5}$ и больше	То же	Гидрокарбонатное и хлоридно-сульфатное в понижениях
110,0	165,0	184	51	$\frac{5-10}{0-3}$	„	Гидрокарбонатное
—	215,0	122	18	$\frac{3-5}{0,5-2}$	<1	Содовое, с участками хлоридных и сульфатных вод

аллювиальная равнина

138,0	227,0	176	41	$\frac{3-8}{1-3}$	<1, на отдельных участках до 3	Сульфатно-хлоридное с участками гипсовых вод
-------	-------	-----	----	-------------------	--------------------------------	--

Подрайон	Общая площадь (тыс. га)	Преобладающая абсолютная высота (м)	Рельеф и микро- рельеф	Преобладаю- щий тип почв	Почвообразующая и подстилающая порода
1	2	3	4	5	6
III ₂ Ажбулат- ский	128,6	95,0—110	Пониженно- волнисто- равнинный с ясно вы- раженным микрорелье- фом	Солонцы, солончаки	Суглинки, подсти- лаемые песками
III ₃ Михайлов- ский	699,0	110—120	Плоско-рав- нинный с яс- но выражен- ным микро- рельефом	Южные черноземы, местами со- лонцы и солончаки	Суглинки, подсти- лаемые глина- ми
III ₄ Сумаче- баклинский	472,3	100—110	Плоско-пони- женный, рав- нинно-грив- ный с ясно- выраженным мезорелье- фом	Солонцы, солончаки	Суглинки, подсти- лаемые глина- ми и слоистыми отложениями
III ₅ Приир- тышский по- вышенный	208,0	115—125	Плоско-ували- стые возвы- шенные рав- нины с ясно выраженным микрорелье- фом	Южные черноземы и каштановые	Супеси и суглин- ки, подстилае- мые песчано- галечниковыми и глинистыми отложениями

IV. Северо-Кулундинская гривно-

IV ₁ Купинско- Чановский	899,0	105—120	Волнисто-рав- нинный, мес- тами запа- динно-грив- ный с резко выраженным мезорелье- фом	Солонцы луговые и лугово- степные черноземы	Суглинки желто- бурые карбо- натные; пески желто-бурые мелкозернистые с прослоями крупнозернис- тых
IV ₂ Баганский	263,4	110—125	Гривный с ре- зко выражен- ным мезорелье- фом	Солонцы и черноземы	Суглинки желто- бурые карбо- натные

Мелнопоративные свойства почво-грунтов				Почвенно-грунтовые воды		
наименьшая влагоемкость (мм) активного слоя почвы		скорость впитывания (мм/ч)		глубина залегания на возвышениях, в понижениях	плотный остаток (г/л)	характер засоления (по К. В. Филатову)
0—60 см	0—100 см	за первый час	коэффициент фильтрации			
7	8	9	10	11	12	13
—	376,0	8,4	1,4	$\frac{2-5}{0-3}$	<3, на неболь- ших участках 5—15 и 10—50	Хлоридное, с участ- ками сульфатных вод
175,0	195,0	42	11	$\frac{>10}{1-5}$	<1	Сульфатно-хлорид- ные
—	382,0	8,7	1,8	$\frac{5-10}{1-3}$ и больше	15—30	Хлоридное, сульфат- ное
119,0	179,0	84	22	$\frac{>10}{3-5}$	<1, на отдель- ных участках 1—3	Гидрокарбонатные

озерная равнина

202,2	325,0	61	21	$\frac{5-10}{1-3}$	Среднезасолен- ные 3—5	Гидрокарбонатно- сульфатное
187,0	288,0	56	12	$\frac{3-5}{1-3}$	3—5, встреча- ются участки пестрой мине- рализации	Гидрокарбонатно- сульфатное

Подрайон	Общая площадь (тыс. га)	Преобладающая абсолютная высота (м)	Рельеф и микро- рельеф	Преобладающий тип почв	Почвообразующая и подстилающая порода
1	2	3	4	5	6
IV ₃ Багано-Карасукский	326,0	115—125	Гривно-озерные равнины с резко выраженным микро- и мезорельефом	Солонцы и черноземы	Суглинки желто-бурые карбонатные; пески желто-бурые мелкозернистые с прослоями крупнозернистых
IV ₄ Карасукский	397,3	125—150	Волнисто-равнинно-гривный с резко выраженным мезорельефом	Южные и обыкновенные черноземы	Суглинки, пески желто-бурые мелкозернистые с прослоями крупнозернистых
IV ₅ Придолинный	611,0	105—115	Плоскоравнинный с озерными западинами и резко выраженным мезорельефом	Солончаково-луговые	Суглинки иловатые; пески глинистые слюдистые

V. Приобская расчлененно-

V ₁ Южноприобский	1246,0	160—300	Увалисторавнинный и овражно-балочный с резко выраженным мезорельефом	Выщелоченные и обыкновенные черноземы	Суглинки желто-бурые карбонатные, местами лёссовидные, в отдельных местах с прослоями песка
V ₂ Баевский	743,8	180—240	Равнинно-пересеченный и овражно-балочный	Южные черноземы	Суглинки желто-бурые карбонатные; супеси желто-бурые, карбонатные, мелко-, средне- и крупнозернистые

Мелиоративные свойства почво-грунтов				Почвенно-грунтовые воды		
наименьшая влагоемкость (мм) активного слоя почвы		скорость впитывания (мм/ч)		глубина залегания на возвышениях, в понижениях	плотный остаток (г/л)	характер засоления (по К. В. Филатову)
0—60 см	0—100 см	за первый час	коэффициент фильтрации			
7	8	9	10	11	12	13
171,0	252,0	32	10	$\frac{3-5}{1-3}$	<1 и <5, встречаются участки сильнозасо- ленные	Карбонатно-сульфат- но-хлоридное
133,0	217,0	84	29	$\frac{5-10}{1-4}$	<1 и <3, на севере райо- на 5	Гидрокарбонатно- сульфатное
—	278,0	34	13	$\frac{3-5}{1-3}$	<1 и <3	Сульфатно-натрие- вые
увалистая равнина						
234,0	388,0	97	42	$\frac{>10}{3-5}$	<1	Сульфатное, с участ- ками гидрокарбо- натно-содовых вод
179,0	271,0	54	33	$\frac{5-10}{2-5}$	<1, <3	Сульфатное, с участ- ками гидрокарбо- натных и содовых вод

Подрайон	Общая площадь (тыс. га)	Преобладающая абсолютная высота (м)	Рельеф и микро- рельеф	Преобладаю- щий тип почв	Почвообразующая и подстилающая порода
1	2	3	4	5	6
V ₃ Кочковский	1776,8	175—250	Увалистрав- нинный пере- сеченный и овражно-ба- лочный с рез- ко выражен- ным мезо- рельефом	То же	Суглинки желто- бурые карбо- натные
V ₄ Древние лощины стока и до- лины рек	965,2	160—220	Бугристо-гря- довый с рез- ко выражен- ным мезо- рельефом	Боровые подзолистые почвы и луговые в долинах рек	Пески глинистые слоистые
Итого:	12800,0				

Подрайон	Возможная площадь орошения (тыс. га)				Водные ресурсы в средний по водности год (мм)	
	регулярное		лиманное орошение при обеспеченности		речной сток (по ГГИ)	местный сток ($F = 50 \text{ км}^2$)
	из р. Оби	за счет подземных вод четвер- тичных отложений	25%	50%		
1	14	15	16	17	18	19

I. Центрально-Кулундинская

I ₁ Успенский	41,8	5,0	5,0	2,0	—	5,5
I ₂ Славгород- ский	87,0	28,5	8,0	4,0	—	10,0

Мелиоративные свойства почво-грунтов				Почвенно-грунтовые воды		
наименьшая влагоемкость (мм) активного слоя почвы		скорость впитывания (мм/ч)		глубина залегания на возвышениях, в понижениях	плотный остаток (г/л)	характер засоления (по К. В. Филатову)
0—60 см	0—100 см	за первый час	коэффициент инфильтрации			
7	8	9	10	11	12	13
207,0	327,0	59	24	$\frac{>10}{1-3}$	<1, <5	Гидрокарбонатное, с участками хлоридных и сульфатных вод
—	—	—	—	$\frac{3-5}{0-3}$	Пресные <1 и участки <3 и <5, среднезасоленные	Сульфатно-хлоридное

Динамические запасы грунтовых вод в четвертичных отложениях (мм)	Способ орошения и техника полива	Мелиоративные, противоэрозийные и противодефляционные мероприятия	Основная агроклиматическая характеристика гидромелиоративного района
20	21	22	23

аллювиальная равнина

5,3	Дождевание	Безотвальная пахота плоскорезами, полосное земледелие	Типчаково-ковыльная и разнотравно-типчаковая степь
16,0	То же	Засев прибороваых песков травами, посадка лесных полос, противофильтрационные мероприятия	$\Sigma t > 10^\circ \text{C} = 2300-2250^\circ \text{C}$ $\Sigma t < -10^\circ \text{C} = 1900 - 2000^\circ \text{C}$

Подрайон	Возможная площадь орошения (тыс. га)				Водные ресурсы в средний по водности год (мм)	
	регулярное		лиманное орошение при обеспеченности		речной сток (по ГГИ)	местный сток ($F=50 \text{ км}^2$)
	из р. Оби	за счет подземных вод четвер- тичных отложений	25%	50%		
1	14	15	16	17	18	19
I ₃ Бурлинско-Славгородский	17,2	3,5	3,0	—	2,3	13,8
I ₄ Бурлинский	12,5	2,5	9,0	4,0	5,7	18,8
I ₅ Малоярковской	14,9	2,5	2,0	—	—	10,2
I ₆ Каинский	20,1	10,5	2,5	1,0	—	10,3
I ₇ Кучук-Кулундинский	29,3	6,0	4,5	2,0	2,4	13,0
II. Павлодарская плоско-						
II ₁ Щербактинский	77,8	10,5	2,0	1,0	—	2,8
II ₂ Павлодарский	51,0	3,0	2,0	1,0	—	2,5
II ₃ Приборо-вой	44,8	4,0	4,5	2,0	—	2,5
II ₄ Боровой	46,2	2,0	10,5	4,0	0,1	6,7
III. Прииртышская озерно-						
III ₁ Приир-тышский по-ниженный	73,4	3,0	2,5	1,0	—	3,8

Динамические запасы грунтовых вод в четвер- тичных отложениях (мм)	Способ орошения и техника полива	Мелиоративные, противоэро- зионные и противодефляцион- ные мероприятия	Основная агроклиматическая характеристика гидромелно- ративного района
20	21	22	23
9,1	Дождевание, по- верхностное орошение (по- лив по бороз- дам)	Вертикальный дренаж (комбинированное оро- шение), противофильт- рационные мероприя- тия	$X=250-300$ мм $E_0=780-750$ мм
7,2	Дождевание, ли- манное ороше- ние	Редкий дренаж и борь- ба с солонцеватостью почв	$K_6=2,2$
9,9	Дождевание	Противодефляционные и противофильтраци- онные мероприятия	$H=0,41$
24,5	Выборочное оро- шение дождева- нием (локаль- но)	Район ограниченного применения регуляр- ного орошения с при- менением мер борьбы с солонцеватостью почв	$ГТК=0,3$. Продолжи- тельность безморозно- го периода $T=120-130$ дней
22,1	Не пригоден для орошения	Гипсование и другие хи- мические мелиорации	

волнистая равнина

4,6	Дождевание	Полосное земледелие, посадка лесных полос, пахота плугами-плос- корезами	Разнотравно-типчаковая и типчаково-ковыль- ная степи
4,2	То же	Противодефляционные и противофильтраци- онные мероприятия	$\Sigma t=10^\circ C=2300-2500^\circ C$ $\Sigma t=10^\circ C=-1600-1800^\circ C$ $X=250-280$ мм $E_0=760-800$ мм
4,2	То же	Редкий комбинирован- ный дренаж и устрой- ство сбросной сети	$K_6=2,6$ $H=0,40$ $ГТК=0,2$
8,9	Лиманное оро- шение	Район, не пригодный для регулярного оро- шения	$T=130-135$ дней

аллювиальная равнина

3,4	Лиманное оро- шение, поверх- ностное оро- шение (полив по бороздам)	Редкий дренаж, проти- водефляционные ме- роприятия	Разнотравно-типчаково- ковыльная и разно- травно-ковыльно-тип- чаковая степь
-----	---	--	---

Подрайон	Возможная площадь орошения (тыс. га)				Водные ресурсы в средний по водности год (мм)	
	регулярное		лиманное орошение при обеспеченности		речной сток (по ГГИ)	местный сток ($P=50$ км ²)
	из р. Оби	за счет подземных вод четвер- тичных отложений	25%	50%		
1	14	15	16	17	18	19
III ₂ Ажбулат- ский	10,5	—	6,0	2,5	—	5,3
III ₃ Михай- ловский	90,0	7,0	13,0	5,5	—	8,9
III ₄ Сумаче- баклинский	6,3	—	5,0	2,0	—	3,3
III ₅ Приир- тышский по- вышенный	24,5	2,5	2,5	1,0	—	9,7

IV. Северо-Кулундинская гривно-

IV ₁ Купинско- Чановский	12,4	—	17,5	6,0	1,5	9,8
IV ₂ Баганский	16,0	—	15,5	5,0	4,6	15,4
IV ₃ Багано- Карасук- ский	27,0	—	39,5	14,5	3,3	13,1
IV ₄ Карасук- ский	3,5	—	37,0	14,0	5,6	16,8
IV ₅ Придолин- ный	28,8	—	60,5	20,5	5,8	17,5

Динамические запасы грунтовых вод в четвер- тичных отложениях (мм)	Способ орошения и техника полива	Мелиоративные, противоэро- зионные и противодефляцион- ные мероприятия	Основная агроклиматическая характеристика гидромелio- ративного района
20	21	22	23
4,1	Выборочно регу- лярное ороше- ние дождева- нием	Горизонтальный дренаж, устройство сбросной сети	$\Sigma t > 10^\circ \text{C} = 2400—2200^\circ \text{C}$ $\Sigma t < -10^\circ \text{C} = -1600—$ 1800°C $X = 220—250 \text{ мм}$ $E_0 = 720—750 \text{ мм}$
4,2	Дождевание (ло- кально)	Редкий дренаж и борь- ба с солонцеватостью почво-грунтов	$K_6 = 2,4$ $I = 0,42$ $\text{ГТК} = 0,3$ $T = 120—130 \text{ дней}$
4,0	Дождевание	Комплексные мелиорации на водосборах соле- ных озер с примение- нием мер борьбы с со- лонцеватостью почв	
4,1	Дождевание с во- дозабором из Иртыша	Противофильтрацион- ные мероприятия	

озерная равнина

4,0	Дождевание и по- верхностное орошение (по- лив по бороз- дам)	Горизонтальный дренаж и устройство сброс- ной сети	Злаково-разнотравные и разнотравно-ковыль- ные степи
—	Лиманное ороше- ние и дожде- вание	Редкий дренаж	$\Sigma t > 10^\circ \text{C} = 2100—2000^\circ \text{C}$ $\Sigma t < -10^\circ \text{C} = -2000—$ 2100°C $X = 320—350 \text{ мм}$ $E_0 = 700—640 \text{ мм}$
5,2	Дождевание и ли- манное ороше- ние	Комплексные мелiorа- ции на водосборах пресных озер	$K_6 = 1,8$ $I = 0,48$ $\text{ГТК} = 0,5$ $T = 120—110 \text{ дней}$
6,5	Лиманное ороше- ние и дождева- ние	Противодефляционные и противофильтраци- онные мероприятия	
6,9	Дождевание (ло- кально) и ли- манное ороше- ние	Мероприятия по борьбе с солонцеватостью почв	

Подрайон	Возможная площадь орошения (тыс. га)				Водные ресурсы в средний по водности год (мм)	
	регулярное		лиманное орошение при обеспеченности		речной сток (по ГГИ)	местный сток ($F=50 \text{ км}^2$)
	из р. Оби	за счет подземных вод четвер- тичных отложений	25%	50%		
1	14	15	16	17	18	19

V. Приобская расчлененно-

V ₁ Южнопри- обский	202,0	9,5	91,5	45,5	12,9	26,7
V ₂ Баевский	125,9	—	82,5	40,5	10,5	29,6
V ₃ Кочковский	60,4	—	103,5	52,5	6,9	33,3
V ₄ Древние лощины стока и до- лины рек	27,7	—	95,5	48,5	9,5	33,7
	245 000	100,0	625,0	280,0		

Примечания. 1. В графе 1 минерализация $<1 \text{ г/л}$ относится к пресным, с площади водосбора 100 км^2 составляет 70%, а с площади водосбора 200 км^2

засушливой Кулундинской степи. Практическим выходом гидромелиоративного районирования являются рекомендации производственного характера, отражающие специфику развития орошения на весьма сложном регионе Обь-Иртышского междуречья и, в частности, Кулундинской степи.

Мелкий масштаб карты весьма ограничивает характеристику мелиоративных районов и подрайонов. Поэтому карта должна рассматриваться как схематическая. Помимо этого, схема районирования будет меняться в зависимости от развития мелиоративной науки и экономических возможностей осуществления рекомендуемых мероприятий.

Предлагаемое районирование является комплексным. Оно основано на анализе и синтезе геологических, геоморфологических, гид-

Динамические запасы грунтовых вод в четвер- тных отложениях (мм)	Способ орошения и техника полива	Мелиоративные, противоэро- зионные и противодефляцион- ные мероприятия	Основная агроклиматическая характеристика гидромелио- ративного района
20	21	22	23

увалистая равнина

5,1	Дождевание и по- верхностное орошение (по- лив по бороз- дам)	Противоэрозионные ме- роприятия (пахота по- перек склона, устрой- ство микролиманов и др.)	Разнотравно-типчаково- ковыльные и разно- травно-ковыльно-тип- чаковые степи
5,4	Лиманное ороше- ние	Противоэрозионные ме- роприятия	$\Sigma t > 10^\circ \text{C} = 2200 - 2100^\circ \text{C}$ $\Sigma t < -10^\circ \text{C} = -1800^\circ \text{C} -$ 1950°C $X = 350 - 300 \text{ мм}$ $E_0 = 700 - 620 \text{ мм}$
3,6	Выборочно по- верхностное орошение (по- лив по бороз- дам), дождева- ние	Противоэрозионные ме- роприятия	$K_6 = 1,6$ $H = 0,52$ $\Gamma \text{ТК} = 0,6$ $T = 125 - 115 \text{ дней}$
3,2	Лиманное ороше- ние (локально)	Комплексное использо- вание местного стока	

водам, 1—3 г/л—к слабозасоленным, 3—5 г/л к средnezасоленным. 2. Сток 60% величины, приведенной в графе 19.

рогеологических, гидрологических, агроклиматических, агрометеорологических, почвенных и мелиоративных условий. Этим оно существенно отличается от ранее предложенных схем почвенно-мелиоративного районирования. В основу разделения территории Кулунды на районы и подрайоны были положены комплексные показатели — ГТК Селянинова, индекс сухости Будыко и коэффициент естественного увлажнения и теплообеспеченности Мезенцева.

ГТК Селянинова представляет собой отношение суммы осадков за период с температурой воздуха выше 10°C к сумме температур за тот же период, уменьшенной в 10 раз. При районировании приняты ГТК за май—июнь для среднесухих лет (75%-ной обеспеченности осадками).

Индекс сухости, по М. И. Будыко (K_6), определяется из следующего соотношения [208]

$$K_6 = \frac{R}{LX} = \frac{0,015 \sum t > 10^\circ \text{C}}{0,6X}, \quad (59)$$

где R — радиационный баланс; X — годовое количество осадков; L — скрытая теплота испарения.

Коэффициент естественного увлажнения и теплообеспеченности I , по В. С. Мезенцеву [135], определяется по формуле

$$I = \frac{Z}{Z_0}, \quad (60)$$

где Z — фактическое суммарное испарение (мм); Z_0 — суммарное испарение при поддержании почвенного покрова на уровне наименьшей влагоемкости — верхнего предела оптимума (мм).

Следовательно, коэффициент естественного увлажнения и теплообеспеченности характеризует связь элементов водного баланса с теплоэнергетическими ресурсами испарения и увлажненностью почвенного покрова (связь между двумя основными компонентами водопотребления и самим водопотреблением, т. е. суммарным испарением), а также характеризует почвенно-мелиоративные особенности района. Таким образом, коэффициент естественного увлажнения является агрометеорологическим показателем степени засушливости территории. Применение его при гидромелиоративном районировании позволяет дифференцированно учитывать все факторы, влияющие на суммарное водопотребление и размер оросительной нормы.

Согласно изложенным принципам районирования, вся территория Кулундинской степи разделена на пять гидромелиоративных районов и 25 подрайонов.

Подробная характеристика каждого из этих районов и подрайонов приведена в табл. 75. Для каждой таксономической единицы (района и подрайона) даны рекомендации по способам орошения и технике полива, мелиоративным, противозерозионным и противодефляционным мероприятиям с учетом почвенно-рельефных и агроклиматических условий, а также местных водных ресурсов.

Заключение

Районы Западной Сибири, в частности Кулундинская степь, богаты плодородными почвами и тепловыми ресурсами; здесь производятся ценные сорта пшеницы. Засушливость климата, частые суховеи и недостаток водных ресурсов резко снижают урожай. Поэтому дальнейшее повышение продуктивности сельскохозяйственного производства в этом районе возможно за счет улучшения агротехнических мероприятий, применения орошения и противоэрозионных мероприятий.

Однако опыт показал, что орошение нередко вызывает вторичное засоление, способствующее снижению урожая и выпадению

ценных земель из севооборота. В связи с изложенным дальнейшее развитие орошения в исследуемом районе требует детальных всесторонних исследований, в первую очередь водного, теплового и солевого балансов, а также агрометеорологических условий и формирования местного стока, процессов эрозии.

Автором собраны и обобщены имеющиеся данные по этим вопросам, проведены собственные полевые исследования, что позволило сделать ряд научных и практических выводов. Выяснилось, в частности, что для орошения Кулундинской степи целесообразно использовать ряд водонесточников: воды р. Оби, сток местных рек, балок и временных водотоков (лиманное орошение), а также подземные воды нижнечетвертичных водоносных горизонтов.

При орошении Центрально-Кулундинской аллювиальной равнины целесообразно применять комбинированные способы подачи воды на орошаемые поля, используя для этого как поверхностные, так и подземные воды. Откачки подземных вод будут играть роль регулятора уровня грунтовых вод с целью предотвращения вторичного засоления на орошаемых массивах.

Наиболее перспективным способом полива при регулярном орошении западной и центральной частей Кулундинской степи (легкие почвы, малые уклоны) является дождевание. Наряду с дождеванием следует применять поверхностные способы полива, автоматизируя распределение воды по длинным бороздам и полосам. В условиях неустойчивой обеспеченности естественными осадками в степной зоне необходимо иметь гибкий режим орошения, изменяющийся в зависимости от характера метеорологических условий года, уровня залегания грунтовых вод и сельскохозяйственных культур.

При организации искусственного орошения расход воды на суммарное испарение является составной частью поливных и оросительных норм. Решение этой задачи возможно при совместном изучении теплового и водного балансов орошаемого поля, в частности, с помощью электронного автоматического устройства — теплосбалансографа. Анализ экспериментального материала, полученного с помощью теплосбалансографа, дает возможность рассчитать гидрометеорологическую эффективность мелиоративных мероприятий, оценить водные запасы и водопотребление сельскохозяйственного поля.

Автором и М. Г. Санояном предложен новый метод оценки влагообеспеченности растений. Использование предлагаемого метода позволит подойти к решению вопроса о создании оптимальных условий развития растений при наиболее экономичном использовании оросительных вод. В результате расчета гидрометеорологического показателя засухи, зависящего от степени увлажнения почвы, представляется возможным определять сроки полива по градиентам температуры и влажности воздуха, а поливную норму — по величине суммарного испарения путем интегрирования его после очередного полива до следующего срока.

На основании имеющихся данных о водных ресурсах (местном стоке) и степени засушливости территории составлена карта комплексного гидромелиоративного районирования Кулундинской степи. В основу районирования положены комплексные показатели — коэффициенты засушливости и коэффициенты естественного увлажнения и теплообеспеченности. При этом учитывались также почвенно-мелиоративные, геоморфологические, гидрологические и агрометеорологические условия регионов, а также естественная дренированность территории.

Изложенные теоретические обобщения и практические выводы по агрометеорологическому и гидрологическому обеспечению орошаемого земледелия в Кулундинской степи при соответствующих почвенно-геологических условиях с учетом особенностей гидрометеорологической обстановки могут быть применены и использованы в других степных районах Западной Сибири и Северного Казахстана.

Автор далек от мысли, что в настоящее время окончательно решены все сложные вопросы агрометеорологического и гидрологического обоснования развития орошения степной зоны, в частности, Кулундинской степи. В ближайшие годы необходимо создать опытно-производственные орошаемые участки во всех гидромелиоративных районах Кулундинской степи. На этих участках следует продолжить исследования по режиму орошения основных сельскохозяйственных культур, способам и технике полива. Нужно разработать комплекс мероприятий по предупреждению вторичного засоления орошаемых земель путем систематического изучения водного, солевого и теплового баланса деятельного слоя.

ЛИТЕРАТУРА

1. Абрамович Д. И. Воды Кулундинской степи. Изд-во СО АН СССР, Новосибирск, 1960.
2. Абрамович Д. И., Милушина Р. Е., Мосненко Н. А. Регулирование стока в озеро Бурлинское. — В кн.: «Вопросы гидрологии», Новосибирск, 1961.
3. Аверьянов С. Ф. Некоторые вопросы предупреждения засоления орошаемых земель и меры борьбы с ним в Европейской части СССР. — В кн.: «Орошаемое земледелие Европейской части СССР». М., «Колос», 1965.
4. Агупов А. В. Нормы стока и колебания водоносности рек Западной Сибири. — В кн.: «Колебания и изменения речного стока». М., Изд-во АН СССР, 1960.
5. Адрианов С. Н. Новое в полезационном лесоразведении на Алтае Барнаул, Алтайское книжн. изд-во, 1960.
6. Алаторцев Е. К. Комплексное использование местного стока. М., «Колос», 1971.
7. Алексеев Г. А. Динамика инфильтрации дождевой воды в почву. — Тр. ГИ, 1948, вып. 6.
8. Алисов Б. П. Принципы климатического районирования СССР. — Изв. АН СССР, сер. геогр., 1957, № 6.
9. Алпатов А. М. Метод сельскохозяйственной оценки осадков теплого периода года. — Докл. ВАСХНИЛ, 1948, вып. 7.
10. Алпатов А. М. Влагооборот культурных растений. Сельхозгиз, 1954.
11. Алпатов А. М. Влагообороты в природе и их преобразования. Л., Гидрометеониздат, 1969.
12. Алпатов С. М. Поливной режим сельскохозяйственных культур в южной части Украины. Киев, 1965.
13. Арманд Д. Л. Физико-географические основы проектирования сети полезационных лесных полос. М., Изд-во АН СССР, 1961.
14. Арманд Д. Л. Сельскохозяйственные факторы возникновения и подавления пыльных бурь. — В кн.: «Пыльные бури и их предотвращение». М., Изд-во АН СССР, 1963.
15. Асоченский А. Н. Орошение и обводнение в СССР. М., «Колос», 1967.
16. Багров М. Н. Орошение полей. Волгоград, Нижне-Волжское книжное изд-во, 1965.
17. Базилевич Н. И. Геохимия почв содового засоления. М., «Наука», 1965.
18. Балков В. А. Закономерности влияния карста на сток. Сб. статей. Изд-во Пермского у-та, 1967.
19. Баюшева М. И. Весенний склоновый сток с основных с.-х. угодий в Кулундинской степи. — «Почвоведение», 1966, № 4.
20. Бараев А. И., Зайцева А. А., Госсен Э. Ф. Борьба с ветровой эрозией почв. Казахсельхозгиз, 1963.
21. Бахтияров В. А. Водное хозяйство и водохозяйственные расчеты. Л., Гидрометеониздат, 1961.
22. Бейром С. Г., Михайлова Е. В., Селяков С. Н. Мелиоративное районирование Кулунды. — Тр. Биол. ин-та СО АН СССР, 1959, вып. 4.
23. Бейром С. Г. Гидрогеология Кулунды и прилегающих районов. Новосибирск, Изд-во СО АН СССР, 1965.
24. Безменов А. И., Розин В. А. Сельскохозяйственная мелиорация. М., «Колос», 1965.

25. Белухина Г. В. Расчет сроков и норм поливов в целях предупреждения повреждений яровой пшеницы суховеями. — Тр. ГМИ, 1968, вып. 14.
26. Берестовский Г. Г. О системе земледелия в зоне ветровой эрозии. Павлодар, 1961.
27. Беседнов Н. А. Мелиорация засоленных земель. М., Сельхозгиз, 1958.
28. Бирюкова А. П. Влияние орошения на водный и солевой режим почв Южного Заволжья. М., Изд-во АН СССР, 1962.
29. Бобков В. П. Об устойчивости почв и грунтов к содовому засолению. — Почвоведение, 1969, № 8.
30. Большаков А. Ф. Водный режим мощных черноземов. М., Изд-во АН СССР, 1961.
31. Боричевский Р. Е. Испарение с поверхности снега в весенний период. — Изв. Омского отд. ВГО, 1959, вып. 3.
32. Бочкарев Я. В. и др. Основы автоматизации и автоматизации производственных процессов в гидромелиорации. М., «Колос», 1969.
33. Бочков А. П. Водный баланс и определение его элементов. Л., Гидрометеониздат, 1971.
34. Быков В. Д. Сток рек Урала. М., Изд-во МГУ, 1963.
35. Бураговский А. И. Испарение почвенной влаги. М., «Наука», 1964.
36. Будыко М. И. Тепловой баланс земной поверхности. Л., Гидрометеониздат, 1956.
37. Бялый А. М. Водный режим в севообороте на черноземных почвах Юго-Востока. Л., Гидрометеониздат, 1971.
38. Введенская Э. Д. Формирование снегового склонового стока. Валдай, 1965.
39. Вендров С. Л. Об изменениях режима речного стока в связи с хозяйственной деятельностью на водосборах. — Изв. АН СССР, сер. геогр., 1959, № 2.
40. Вендров С. Л., Калинин Г. П. Ресурсы поверхностных вод СССР, их использование и изучение. — В кн.: «Материалы к III съезду Географического общества СССР». Л., 1959.
41. Вериго С. А., Разумова Л. А. Почвенная влага и ее значение в сельскохозяйственном производстве. Л., Гидрометеониздат, 1963.
42. Вильямс В. Р. Почвоведение. М., Сельхозгиз, 1950.
43. Вольфцун И. Б., Смирнов К. И. Способы расчета нормы орошения и продолжительности затопления лиманов. — В кн.: «Водный баланс и методика расчета режима затопления лиманов Западного Казахстана». Л., Гидрометеониздат, 1968.
44. Воскресенский К. П. Гидрология аридных областей СССР. — Тр. ГГИ, 1968, вып. 163.
45. Воскресенский К. П., Куприянов В. В., Протасьев М. С. Ресурсы поверхностных вод р. Оби и Обь-Иртышского междуречья (южнее Новосибирска). — В кн.: «Комплексное использование водных ресурсов Обского бассейна». Новосибирск, «Наука», 1970.
46. Воскресенский С. С. Геоморфология Сибири. М., Изд-во МГУ, 1962.
47. Гармонов И. В. и др. Подземные воды юга Западно-Сибирской низменности и условия их формирования. М., Изд-во АН СССР, 1961.
48. Гвоздецкий Н. А., Михайлов Н. И. Физическая география СССР. Азиатская часть. М., Географиз, 1963.
49. Герарди И. А. Проблема использования вод Обского бассейна для обводнения Казахстана и Средней Азии в комплексе с осушением Западно-Сибирской низменности. — В кн.: «Комплексное освоение водных ресурсов Обского бассейна». Новосибирск, «Наука», 1970.
50. Герасимов И. П. Почвенно-мелниоративный очерк Кулундинской степи и южной Барабы. — Тр. Комиссии по ирригации, 1937, вып. 7.
51. Голчепко М. Г. Максимально возможное испарение и его внутригодовое распределение. — В кн.: «Мелиорация и гидротехника». Изд-во БСХА, 1970.
52. Горшенин К. П. Почвы южной части Сибири. М., Изд-во АН СССР, 1955.
53. Горюнов Н. С. Орошение с.-х. культур и мелиорация засоленных земель в Казахстане. Алма-Ата, «Кайнар», 1959.

54. Григоров М. С. Исследования по подпочвенному орошению. — В кн.: «Мелiorация и гидротехника». Горки, Изд-во БСХА, 1970.
55. Григорьев А. А. Географическая зональность и некоторые ее закономерности. — Изв. АН СССР, сер. геогр., 1954, № 5.
56. Грибанов Л. Н. К познанию природы черных бурь в Кулундинской степи Алтайского края. — «Почвоведение», 1954, № 9.
57. Грин А. М., Назаров Г. В. Особенности водопроницаемости почв лесостепной зоны. — Изв. ВГО, 1965, т. 97.
58. Грин А. М., Басс С. В., Назаров Г. В. Полевые экспериментальные исследования влияния сельского хозяйства на сток. — В кн.: «Водный баланс СССР и его преобразование». М., «Наука», 1969.
59. Давитая Ф. Ф., Мельник Ю. С. Проблема прогноза испаряемости и оросительных норм. Л., Гидрометеониздат, 1970.
60. Данильченко Н. В. Методы определения суммарного водопотребления и расчет поливных режимов сельскохозяйственных культур. М., 1965.
61. Дзердзеевский Б. Л. Тепловой баланс и микроклимат лимана и сухой степи. — Изв. АН СССР, сер. геогр., 1954, № 2.
62. Дмитриев В. С. Экономическая эффективность лиманного орошения и основные меры по ее повышению. — В кн.: «Лиманное орошение». М., «Колос», 1970.
63. Долгов С. И. Исследования подвижности почвенной влаги и ее доступности для растений. М., Изд-во АН СССР, 1948.
64. Дрейер Н. Н. Распределение элементов водного баланса на территории СССР. — Изв. АН СССР, сер. геогр., 1962, № 6.
65. Дроздов О. А., Григорьева А. С. Влагооборот в атмосфере. Л., Гидрометеониздат, 1963.
66. Дунин-Барковский Л. В. Физико-географические основы проектирования оросительных систем. М., Сельхозгиз, 1960.
67. Дюнин А. К. Испарение снега. Новосибирск, Изд-во СО АН СССР, 1961.
68. Евтхнчев Н. Е., Мосиенко Н. А. Орошение в степных районах Алтая. — «Сельское хозяйство России», 1966, № 9.
69. Егоров В. В. Засоленные почвы и их освоение. М., Изд-во АН СССР, 1954.
70. Железняков Г. В. Гидрометрия. М., «Колос», 1965.
71. Жигалов И. И., Гришин И. С. О потерях влаги на испарение с поверхности снежного покрова и почвы за период снеготаяния и стока талых вод. — «Почвоведение», 1957, № 12.
72. Журавлев М. З. Водный режим чернозема лесостепи Западной Сибири. — Тр. Омского СХИ, 1959, т. 36.
73. Заварина М. В. Засуха и борьба с ней. М., Географгиз, 1954.
74. Залыгин С. П. Выбор расчетного года при проектировании оросительных систем в условиях переменного увлажнения. — Тр. Омского СХИ, 1958, т. 26.
75. Занин Г. В. Природное районирование территории земель нового освоения в Алтайском крае. — Изв. АН СССР, сер. геогр., 1955, № 2.
76. Звонков В. В. Водная и ветровая эрозия. М., Изд-во АН СССР, 1962.
77. Звонкова Т. В. Прикладная геоморфология. М., «Высшая школа», 1970.
78. Зуик Д. Т. Экономика водного хозяйства. М., «Колос», 1966.
79. Зубов Л. П. Расчет режима влажности почво-грунтов в условиях Центральной Кулунды. — «Почвоведение», 1965, № 1.
80. Иванов В. К. Условия возникновения суховея Западной Сибири. — В кн.: «Суховеи, их происхождение и борьба с ними». М., Изд-во АН СССР, 1957.
81. Иванов Н. Н. Зоны увлажнения земного шара. — Изв. АН СССР, сер. геогр. и геофиз., 1941, № 3.
82. Иванов К. Е., Харченко С. И. Состояние вопроса и задачи регулирования испарения с почвы. Валдай, 1964.
83. Игнатович А. И. Комплекс мер борьбы с засухой и ветровой эрозией почв. Барнаул, 1967.
84. Игнатенок Ф. В. Проблемы водного питания и мелiorации земель. Горки, Изд-во БСХА, 1971.

85. Калинин Г. П. Проблемы глобальной гидрологии. Л., Гидрометеониздат, 1968.
86. Карпачевский Л. О. Водно-физические свойства некоторых почв Алтайского края. — В кн.: «Почвы Алтайского края». М., Изд-во АН СССР, 1958.
87. Карнацевич И. В. Увлажнение и водный баланс территории Западно-Сибирской равнины. — Тр. Омского СХИ, 1964, т. 52.
88. Кельчевская Л. С. Учет в агроклиматических исследованиях поглощения почвой осенне-зимних осадков. — Тр. ИЭМ, 1969, вып. 8.
89. Кистанов Н. С. Процессы засоления—рассоления и осолонцевания почв при лиманном орошении. — Тр. ВолжНИИГиМ, 1970, т. 3, ч. 3.
90. Кириллчева К. В. Влагообеспеченность и урожайность яровой пшеницы в Западной Сибири и в Северной половине Казахстана. — «Метеорология и гидрология», 1963, № 11.
91. Княгинин Н. И. Методика расчета нормы ресурсов поверхностных вод. — В кн.: «Комплексное освоение водных ресурсов Обского бассейна». Новосибирск, «Наука», 1970.
92. Ковалев Р. В. и др. Почвенно-мелиоративное районирование засушливой зоны Обь-Иртышского междуречья. — В кн.: «Почвы Кулундинской степи». Новосибирск, «Наука», 1967.
93. Ковда В. А. Происхождение и режим засоленных почв. Части 1 и 2. М.—Л., Изд-во АН СССР, 1947.
94. Козменко А. С., Ивановский А. Д. Снеговой режим в Центральной лесостепи. — «Гидротехника и мелиорация», 1952, № 12.
95. Колдомасов Л. И. Особенности засух Западной Сибири. Новосибирск, 1950.
96. Колобков М. Н. Кулундинская степь. Новосибирск, ОГИЗ, 1953.
97. Колосков П. И. Агроклиматическое районирование Казахстана. М., Изд-во АН СССР, 1947.
98. Колпаков В. В. Эффективность орошения и удобрений в различных зонах СССР. — В кн.: «Биологические основы орошаемого земледелия». М., Изд-во АН СССР, 1966.
99. Комаров В. Д. Лабораторные исследования водопроницаемости мерзлой почвы. — Тр. ЦИП, 1957, вып. 54.
100. Комлев А. М. Водные ресурсы рек Западной Сибири, их изучение и использование. Новосибирск, Зап-Сиб. книжное изд-во, 1969.
101. Константинов А. Р. Испарение в природе. Л., Гидрометеониздат, 1968.
102. Конторщиков А. С. Зависимость среднегодовых запасов продуктивной влаги осенью от почвенно-климатических факторов. — Тр. ЦИП, 1962, вып. 102.
103. Корзун В. И. Сток и потери талых вод на склонах полевых водосборов. Л., Гидрометеониздат, 1968.
104. Коронкевич Н. И. Зависимость урожая в засушливой зоне от обеспеченности ресурсами почвенной влаги. — Изв. АН СССР, сер. геогр., 1965, № 3.
105. Костин И. С. Орошение Поволжья. М., «Колос», 1971.
106. Костяков А. Н. Основы мелиорации. М., Сельхозгиз, 1960.
107. Кочина П. Я. Орошение Кулундинской степи. — Вестн. АН СССР, 1960, № 5.
108. Кочина П. Я., Мосненко Н. А. Орошение подземными водами в Индии. — «Гидротехника и мелиорация», 1962, № 8.
109. Кочина П. Я., Мосненко Н. А., Шербань Е. В. Подземные воды Кулундинской степи и их использование для орошения. — «Гидротехника и мелиорация», 1964, № 10.
110. Кригер Р. Э. Лиманное орошение в Заволжье. М., Изд-во АН СССР, 1954.
111. Крицкий С. Н., Менкель М. Ф. Основные проблемы развития водного хозяйства. М., 1965.
112. Куделин Б. И. Принципы региональной оценки естественных ресурсов подземных вод. Изд-во МГУ, 1960.

113. Кузин П. С. Режим рек южных районов Западной Сибири, Северного и Центрального Казахстана. Л., Гидрометеонздат, 1953.
114. Кузнецов И. А. Комплексное освоение водных ресурсов равнинных бассейнов и ирригация. М., «Наука», 1968.
115. Кузник И. А. Склоновый сток в Поволжье. — «Метеорология и гидрология», 1953, № 10.
116. Кузник И. А. Агролесомелиоративные мероприятия, весенний сток и эрозия почв. Л., Гидрометеонздат, 1962.
117. Кузьмин П. П. Процесс таяния снежного покрова. Л., Гидрометеонздат, 1961.
118. Кулик М. С. Критерии суховея. — В кн.: «Суховей, их происхождение и борьба с ними». Изд-во АН СССР, 1957.
119. Кулик М. С. Погода и минеральные удобрения. Л., Гидрометеонздат, 1967.
120. Курченко И. Е. Комплексное использование вод местного стока. Волгоград, Нижне-Волжское книжное изд-во, 1969.
121. Ларонов А. Г. Сельскохозяйственное освоение лиманов. Сталинград, 1957.
122. Ларин И. В. Природные лиманы, их улучшение и рациональное использование. — Вестн. с.-х. науки, 1965, № 7.
123. Лебедев Г. В. Импульсное дождевание и водный обмен растений. М., «Наука», 1969.
124. Ливеровский Ю. А. Проблемы номенклатуры почв. — «Почвоведение», 1970, № 10.
125. Летунов П. А. Принципы комплексного природного районирования в целях развития сельского хозяйства. — «Почвоведение», 1956, № 3.
126. Лысогоров С. Д. Орошаемое земледелие. М., «Колос», 1965.
127. Львович М. И. Человек и воды. М., Географгиз, 1963.
128. Львович М. И. Водные ресурсы будущего. М., «Просвещение», 1969.
129. Льгов Г. К. Орошение сельскохозяйственных культур в предгорьях центральной части Северного Кавказа. Нальчик, 1960.
130. Малик Л. К. Соотношение снегонакопления на открытой местности и под пологом леса в Приобье. — Изв. АН СССР, сер. геогр., 1966, № 4.
131. Мамаев М. Г. Гидротехнические и мелиоративные средства борьбы с эрозией почвы. М., «Знание», 1964.
132. Мартынов В. А. Основные черты геоморфологии Кулундинской степи. — Вестн. ЗСГУ, 1957, вып. 1.
133. Мастинская С. Б., Мещанинова Н. Б. Агрогидрологическая эффективность орошения зерновых культур. — Тр. ЦИП, 1957, вып. 53.
134. Матарзин Ю. М. Проблемы комплексных географо-гидрологических исследований формирования крупных водохранилищ и их влияние на природу. Пермь, Изд-во ПГУ, 1971.
135. Мезенцев В. С. Атлас увлажнения и теплообеспеченности Западно-Сибирской равнины. Омск, 1961.
136. Мезенцев В. С., Карнацевич И. В. Увлажненность Западно-Сибирской равнины. Л., Гидрометеонздат, 1969.
137. Мещанинова Н. Б. Расчет оросительных норм и эффективности орошения по агрометеорологическим данным (на примере Кулундинской степи). — «Метеорология и гидрология», 1963, № 11.
138. Мещанинова Н. Б. Расчет сроков и норм полива яровой пшеницы с учетом метеорологических данных. — Тр. ГМЦ, 1968, вып. 14.
139. Мещанинова Н. Б. Агрометеорологические основы орошения зерновых культур в Кулундинской степи. Л., Гидрометеонздат, 1971.
140. Миркин С. Л. Водные мелиорации в СССР и пути их развития. М., Изд-во АН СССР, 1960.
141. Мичков В. А. Каменская ГЭС и орошение Кулунды. Новосибирск, Изд-во СО АН СССР, 1964.
142. Мичурин Б. Н. Водный баланс поля яровой пшеницы в условиях орошаемого Заволжья. — Сб. трудов по агроном. физике, 1954, вып. 7.
143. Моспенок Н. А. Промерзание и оттаивание почвы в условиях Кулундинской степи. — Почвоведение, 1957, № 1.

144. Мосиенко Н. А. К вопросу о распределении снежного покрова на Приобском плато. — Изв. Новосибир. отд. геогр. о-ва СССР, 1957, вып. 1.
145. Мосиенко Н. А. Лиманное орошение. Новосибирск, 1957.
146. Мосиенко Н. А. Лиманное орошение сенокосов и пастбищ в Кулундинской степи. — Вести. с.-х. науки, 1958, № 2.
147. Мосиенко Н. А. Склоновый сток на Приобском плато. — «Метеорология и гидрология», 1958, № 6.
148. Мосиенко Н. А. Водопроницаемость мерзлых почв в условиях Кулундинской степи. — «Почвоведение», 1958, № 9.
149. Мосиенко Н. А., Павленко Г. В., Худомясова Ю. В. Испарение с поверхности снежного покрова в Западной Сибири. — «Метеорология и гидрология», 1959, № 8.
150. Мосиенко Н. А. Использование водных ресурсов равнинной части Алтайского края и южных районов Новосибирской области. — В кн.: «Ресурсы поверхностных вод районов освоения целинных и залежных земель». Вып. 6. Л., Гидрометеониздат, 1962.
151. Мосиенко Н. А. Вопросы орошения и обводнения Кулундинской степи. — «Гидротехника и мелиорация», 1962, № 5.
152. Мосиенко Н. А. Орошение степи. Новосибирск, Зап.-Сиб. книжное изд-во, 1964.
153. Мосиенко Н. А. Орошение Кулунды. — «Сельское хозяйство Сибири и Дальнего Востока», 1966, № 1.
154. Мосиенко Н. А., Саноян М. Г. Зависимость между составляющими теплового баланса и влажностью почвы. — Изв. СО АН СССР, 1966, № 8.
155. Мосиенко Н. А. Водный баланс каштановых почв при поливе дождеванием. — В кн.: «Агрометеорологическое обеспечение орошаемого земледелия». М., Россельхозиздат, 1968.
156. Мосиенко Н. А. К вопросу об использовании подземных вод для орошения и обводнения. — В кн.: «Мелиорация и гидротехника». Горки, Изд-во БСХА, 1970.
157. Мосиенко Н. А. Весенний склоновый сток с засоленных почв. — «Метеорология и гидрология», 1971, № 5.
158. Мушкин И. Г. Методы оценки влагообеспеченности растений и сельскохозяйственных полей. Л., Гидрометеониздат, 1971.
159. Назаров Г. В. Зональные особенности водопроницаемости почв СССР. Л., 1970.
160. Невечеря В. Л. О методике расчета предзимней влажности грунтов юга Западной Сибири. — Изв. СО АН СССР, 1965, № 10.
161. Николаев В. А. Геоморфологическое районирование Западно-Сибирской низменности. — Тр. ИГиГ СО АН СССР, 1962, вып. 27.
162. Никольская Ю. П. Процессы солеобразования в озерах и водах Кулундинской степи. — Новосибирск, Изд-во СО АН СССР, 1961.
163. Оборин А. И. Мелиорация солонцов в лесостепном Зауралье. Пермь, 1962.
164. Онуфриенко Л. Г. Весенний сток с малых водосборов овражно-балочного рельефа. М., Сельхозгиз, 1958.
165. Орлов А. Д. Водная эрозия почв Новосибирского Приобья. Новосибирск, «Наука», 1971.
166. Орлова В. В. Западная Сибирь — В кн.: «Климат СССР». Л., Гидрометеониздат, 1962.
167. Орловский Н. В. Основные приемы освоения и окультуривания засоленных почв. — Вестн. с.-х. науки, 1959, № 10.
168. Островная Н. Н. Водные ресурсы районов лиманного орошения. — В кн.: «Лиманное орошение». М., «Колос», 1970.
169. Павленко Г. В. Весенний сток в Кулундинской степи, возможности его прогнозов и расчетов. Новосибирск, Изд-во СО АН СССР, 1963.
170. Панадиадис А. Д. Барабинская низменность. М., Географгиз, 1953.
171. Папин П. С. Процессы солеотдачи в промываемых толщах почв. М., «Наука», 1967.
172. Панфилов В. П. Агромелиоративная характеристика темно-каштановых почв опытного орошаемого участка. — Тр. БИ СО АН СССР, 1959, вып. 4.

173. Панфилов В. П. Водно-физические свойства и водный режим почв Кулундинской степи. — В кн.: «Почвы Кулундинской степи». Новосибирск, «Наука», 1967.
174. Перехрест С. М. Орошение земель юга Украины. Киев, Изд-во АН УССР, 1962.
175. Петин Н. С. Физиология орошаемых сельскохозяйственных растений. М., Изд-во АН СССР, 1962.
176. Плиткин Г. А. Нормы годовых осадков на территории Западно-Сибирской равнины и Северного Казахстана. — Тр. ГГИ, 1968, вып. 163.
177. Позднякова Г. М. Формирование элементов теплового баланса орошаемого поля яровой пшеницы в засушливые годы. — В кн.: «Вопросы географии Западной Сибири». Вып. 2. 1968.
178. Полубаринова-Кочина П. Я., Пряжинская В. Г., Эмих В. Н. Математические методы в вопросах орошения. М., «Наука», 1969.
179. Помус М. И. Кулундинская степь — «Природа», 1953, № 6.
180. Поползин А. Г. Озера юга Обь-Иртышского бассейна. Новосибирск, Зап.-Сиб. книжное изд-во, 1967.
181. Процеров А. В. Справочник агрогидрологических свойств почв СССР. Л., Гидрометеонздат, 1953.
182. Пряжинская В. Г. Оптимальные модели орошения. Новосибирск, 1970.
183. Разумова Л. А. и др. Условия водоснабжения зерновых культур в степных районах северной половины Казахстана и в Кулунде. Л., Гидрометеонздат, 1960.
184. Разумова Л. А. Влияние глубины стояния грунтовых вод на влажность почвы и формирование урожая с.-х. культур при орошении. — Тр. ГМЦ, 1968, вып. 24.
185. Разумихин Н. В. Некоторые вопросы формирования стока в Южном Заволжье. — Вести. ЛГУ, 1956, № 24.
186. Рихтер Г. Д. Снег и его использование. М., «Знание», 1960.
187. Роговская Н. В. Методика гидрогеологического районирования для обоснования мелиораций. М., Госгеолтехиздат, 1959.
188. Руде А. А. Основы учения о почвенной влаге. Л., Гидрометеонздат, 1965.
189. Руденко Г. Т. Севообороты и агрокомплекс на Алтае. Барнаул, 1966.
190. Руднев Г. В. Агрометеорология. Л., Гидрометеонздат, 1964.
191. Сабиров М. С. Лиманное орошение. Алма-Ата, «Кайнар», 1966.
192. Сабо Е. Д. Сконовый сток на Ергенях. — «Метеорология и гидрология», 1957, № 9.
193. Саваренский А. Д. Выбор площади орошения при неустойчивом стоке. — Бюлл. научно-техн. инфор. по гидротехнике и мелиорации, 1957, № 4.
194. Саваренский А. Д. Система степного орошения и развитие ирригации в Центральной Кулунде. — В кн.: «Материалы 29-й Научно-технической конференции». Новочеркасск, 1969.
195. Савина С. С. Гидрометеорологический показатель засухи и его распределение на ЕТС. М., Изд-во АН СССР, 1963.
196. Саноян М. Г., Мосиенко Н. А. К вопросу о тепловом и водном балансе орошаемого поля в условиях Кулундинской степи. — Изв. СО АН СССР, сер. техн., 1965, № 3.
197. Саноян М. Г., Мосиенко Н. А. Оценка влагообеспеченности растений методом теплового баланса. — «Почвоведение», 1966, № 6.
198. Сапожникова С. А. Принципы сельскохозяйственной бонитировки климата. — Тр. ВМС, 1963, т. 8.
199. Сахончик В. П. Опыт орошения яровой пшеницы в Западной Сибири. — Тр. Омского СХИ, 1958, т. 26.
200. Сдобников С. С. Вопросы земледелия в Целинном крае. М., «Колос», 1964.
201. Селяков С. Н. Почвенные условия ползащитного лесоразведения в Кулунде. — Тр. по лесн. хозяйству Зап. Сибири, 1954, вып. 1.
202. Селяков С. Н. Некоторые закономерности соленакопления в почвах Кулунды. — В кн.: «Генезис почв Западной Сибири». Новосибирск, 1954.
203. Селянников Г. Т. Принципы агроклиматического районирования СССР. — В кн.: «Вопросы агроклиматического районирования СССР». М., Сельхозгиз, 1958.

204. Семенов В. А. Испарение и конденсация снега в условиях Центрального Казахстана. — Тр. КазНИГМИ, 1963, вып. 18.
205. Сенников В. А., Сляднев А. П. Агроклиматические ресурсы юго-востока Западной Сибири и продуктивность зерновых культур. Л., Гидрометеониздат, 1972.
206. Серякова Л. П. Определение испаряемости и расчеты норм орошения. — Изв. АН СССР, сер. геогр., 1957, № 6.
207. Силецкий К. Н. Условия формирования теплового и водного балансов сульфатных озер Кулупды. — Автореферат диссертации. Иркутск, 1967.
208. Сляднев А. П. Засуха 1963 г. на юго-востоке Западной Сибири. — Вестн. МГУ, 1964, № 4.
209. Сляднев А. П. Географические основы климатического районирования и опыт их применения на юго-востоке Западно-Сибирской равнины. — В кн.: «География Западной Сибири». Новосибирск, Зап.-Сиб. книжное изд-во, 1965.
210. Сляднев А. П. Некоторые особенности атмосферного увлажнения на юго-востоке Западно-Сибирской равнины. — В кн.: «Комплексное освоение водных ресурсов Обского бассейна». М., «Наука», 1970.
211. Смирнов Д. С. Высокие урожаи люцерны при лиманном орошении. «Кормовая база», 1953, № 4.
212. Смирнов Н. В. и др. Краткий курс математической статистики для технических приложений. М., Физматгиз, 1959.
213. Смирнова С. И. Метеорологический эффект орошения на неполивных участках. — «Метеорология и гидрология», 1963, № 11.
214. Снытко А. И. Водопотребление сахарной свеклы в условиях Центральной части Кулундинской степи. — В кн.: «Наука сельскому хозяйству Новосибирской области». Новосибирск, 1963.
215. Соболев С. С. Защита почв от эрозии. М., Сельхозгиз, 1961.
216. Соколов А. А. Проявление закона географической зональности в гидрологии. — «Метеорология и гидрология», 1961, № 8.
217. Соколовский Д. Л. Речной сток. Л., Гидрометеониздат, 1968.
218. Стеженская И. Н. Сезонный сток рек Западно-Сибирской равнины. Л., Гидрометеониздат, 1971.
219. Струмилин С. Г., Лупинович И. С. Естественно-историческое районирование. М., Изд-во АН СССР, 1947.
220. Стругалева Е. В. Солевой режим Алейской оросительной системы и некоторые пути его регулирования. Иркутск, 1963.
221. Субботин А. И. Сток талых и дождевых вод. М., Гидрометеониздат, 1966.
222. Судницын И. И. Закономерности передвижения почвенной влаги. М., Наука, 1964.
223. Сурмач Г. П. Об условиях, определяющих поглощение почвой талых вод. — «Земледелие», 1955, № 1.
224. Сухарев И. П. Регулирование и использование местного стока. М., «Колос», 1967.
225. Талалаевский Г. В. Применение уравнения водного и теплового баланса деятельной поверхности почвы к расчетам дефицита влаги и оросительных норм для юга ЕТС. — Тр. ЛГМИ, 1964, вып. 26.
226. Тимофеев Н. А. Некоторые вопросы орошения Кулундинской степи. — В кн.: «Комплексное освоение водных ресурсов Обского бассейна». Новосибирск, «Наука», 1970.
227. Тихомиров М. И., Гуляев А. С., Мосиенко Н. А. Экономическое обоснование орошения Кулундинской степи (к технико-экономическому докладу по проблеме). — В кн.: «Вопросы экономики и организации с.-х. производства Западной Сибири». Новосибирск, 1965.
228. Топоров О. М. Обводнение и орошение на Алтае. Барнаул, Алтайкрайиздат, 1952.
229. Турбин А. Г., Иванов А. В. Оазисное орошение в Кулунде. Барнаул, Алтайское книжн. изд-во, 1971.
230. Уланова Е. С. Методы агрометеорологических прогнозов. Л., Гидрометеониздат, 1959.

231. Урываев П. А. Влияние зяблевой вспашки на сток талых вод. — «Метеорология и гидрология», 1953, № 7.
232. Фаворин Н. Н. Искусственное пополнение подземных вод. М., «Наука», 1967.
233. Фашевский Б. В. Внутригодовое распределение стока рек верхней Оби. — В кн.: «Комплексное освоение водных ресурсов Обского бассейна». Новосибирск, «Наука», 1970.
234. Федосеев А. П. Агрометеорологические аспекты обоснования агротехники. — В кн.: «Агрометеорологические аспекты повышения продуктивности земледелия». Л., Гидрометеониздат, 1970.
235. Фельдман Я. И. Особенности засушливой и влажной погоды в районах освоения целинных земель Казахстана и Алтайского края. — В кн.: «Гидроклиматический режим лесостепной и степной зон СССР в засушливые и влажные годы». М., Изд-во АН СССР, 1960.
236. Феско К. Я. Использование местного стока. Барнаул, 1968.
237. Фиалков Д. Н. Грядовые формы рельефа Западно-Сибирской низменности. — Зап. Омского отд. ГО СССР, 1964, т. 1 (40).
238. Филатов К. В. Особенности химического состава подземных вод Алтайского края и их связь с поверхностными водами. М., Изд-во АН СССР, 1961.
239. Фищенко Г. И. Новое в технике подпочвенного орошения. — «Гидротехника и мелиорация», 1960, № 3.
240. Харченко К. И. Суммарное испарение с различных угодий при оптимальном увлажнении. — Тр. ГГИ, 1962, вып. 82.
241. Харченко С. И. Гидрология орошаемых земель. Л., Гидрометеониздат, 1968.
242. Харченко С. И. Исследования влагообмена в зоне аэрации на орошаемых землях. — В кн.: «Комплексное освоение водных ресурсов Обского бассейна». Новосибирск, «Наука», 1970.
243. Хруппа И. Ф. Опыт орошения люцерны в районе Омска. — Тр. Омского СХИ, 1958, т. 26.
244. Циприс Д. В. Рекомендации по режиму орошения дождеванием. Лениниздат, 1964.
245. Чалая И. П., Шульгин А. М. Опыт комплексного природно-мелиоративного районирования. — Вестн. МГУ, 1968, № 5.
246. Чеботарев А. И. Общая гидрология. Л., Гидрометеониздат, 1960.
247. Чемоданов С. Г. Водный режим рек и озер Кулундинской степи. — Тр. ГГИ, 1954, вып. 43 (97).
248. Черникова М. И., Кузьмина Л. Н. Агроклиматические свойства почв юго-восточной части Западной Сибири (справочник). Л., Гидрометеониздат, 1965.
249. Чирков Ю. И. Развитие методов агрометеорологических прогнозов урожая с.-х. культур. — В кн.: «Агрометеорологические аспекты повышения продуктивности земледелия». Л., Гидрометеониздат, 1970.
250. Чудновский А. Ф. Микроклимат и тепловой баланс орошаемого поля. М., Изд-во АН СССР, 1953.
251. Чуприн И. А., Мосиенко Н. А. Орошение на местном стоке. М., Россельхозиздат, 1968.
252. Чуркин Н. И. Испарение снега в условиях Целиноградской области. — «Метеорология и гидрология», 1970, № 5.
253. Шабалин И. Н. Вопросы водопотребления при орошении яровой пшеницы в Кулундинской степи. — Тр. Биол. ин-та СО АН СССР, 1959, вып. 4.
254. Шавва К. И. Определение расчетной обеспеченности лиманного орошения. — Вестн. с.-х. науки, 1963, № 2.
255. Шавва К. И. О выборе оптимального размера площади лиманного орошения. — «Гидротехника и мелиорация», 1969, № 3.
256. Шаров И. А. Роль мелиораций при программных методах управления с.-х. процессом. — Изв. ТСХА, 1961, № 2.
257. Шашко Д. И. Агроклиматическое районирование СССР. М., «Колос», 1967.
258. Щербань Е. В. Питание грунтовых вод. — «Сельское хозяйство Сибири и Дальнего Востока», 1966, № 1.

259. Шкляев А. С. К вопросу о влиянии хозяйственной деятельности человека на сток бассейна р. Оки. — Учен. зап. Перм. гос. ун-та, 1955, т. 9, вып. 1.
260. Шамаков В. М. Годовой сток рек Западной Сибири и Северного Казахстана. — Тр. Омского СХИ, 1963, т. 51.
261. Шнитников А. В. Водный баланс озер Кулундинское и Кучук. — Тр. ГГИ, 1948, вып. 4.
262. Шпак И. С. Некоторые характеристики испарения с почвы, полученные методом водного баланса. Валдай, 1961.
263. Штойко Д. А. Нормативы проектирования режимов орошения с.-х. культур в условиях интенсивного использования орошаемых земель. — В кн.: «Орошаемое земледелие в ЕТС». М., «Колос», 1965.
264. Шульга Н. К. Водный баланс при орошении дождеванием овощных культур. — Тр. НИМИ, 1955, т. 5.
265. Шульгин А. М. Физико-географические основы мелиорации. М., Изд-во МГУ, 1965.
266. Шульгин А. М. Климат почвы и его регулирование. Л., Гидрометеоздат, 1967.
267. Шумаков Б. А., Шумаков Б. Б. Лиманное орошение. М., 1963.
268. Шумаков Б. А. Орошение в засушливой зоне европейской части СССР. М., Россельхозиздат, 1969.
269. Шумаков Б. Б. Использование местного стока. М., Россельхозиздат, 1967.
270. Щеголева А. Д. Влияние лиманного орошения на почвообразовательный процесс. — «Почвоведение», 1953, № 11.
271. Эйрих Г. Д. Слой весеннего стока и его расчеты на территории Западно-Сибирской равнины. — Тр. Омской ГМО, 1965, вып. 1.
272. Юнусов Г. Р. К методике расчета водного баланса в связи с хозяйственной деятельностью на водосборе. — Тр. ГГИ, 1965, вып. 127.
273. Ярмизин Д. В., Лысогоров С. Д. Мелиоративное земледелие. М., «Колос», 1967.
274. Avers A. D. and Campbell R. B. Freezing point of water in a soil as related to salt and moisture contents of the soil. Soil Science, vol. 72, No. 3, 1951.
275. Baker F. S. Some Field experiments upon evaporation from snow faces. Month. Weather Rev., No. 45, 1917.
276. Blaney H. F. and Criddle W. D. Determining water requirements in irrigated areas from climatological and irrigation data. U. S. Depart. Agric. SCS, 96, 1950.
277. Croft A. R. Evaporation from snow. Meteorol. Soc. Bull., vol. 25, 1944.
278. Dalley F. L., Hays O. E. The effect of the degree of slope on runoff and soil-erosion. — Agr. Eng., vol. 45, No. 6, 1932.
279. Edleison N. E. and Bodman G. B. Field measurements of water movement through a salt loam soil. J. Am. Soc. Agron., vol. 33, 1941.
280. Elison W. D. Soil Erosion Studies. Agr. Eng., vol. 28, No. 4—9, 1947.
281. Florell V. H. Basin listing to retain snow moisture. Soil Con. U. S. Dep. Agr. Washington, vol. 3, No. 7, 1937.
282. Frost K. R. Efficiency of Sprinkler irrigation. Irrigation Engineering and Maintenance, vol. 14, No. 4, 1964.
283. Gardner W. R. Dynamic Aspects of Water Engineering Availability to Plants. Soil Science, vol. 89, No. 2, 1960.
284. Gray D. A. Instrumentation in Ground-Water studies. Water and Water Eng., vol. 63, No. 319, 1964.
285. Green O. E. Factors influencing run-off. Agr. Eng., vol. 36, No. 11, 1965.
286. Hari Lal Sally. An integrated system of irrigation and drainage for a stable optimum use water and land resourries of river basin. University of Roorkee research Journal, Nov., 1958, vol. 1, No. 1.
287. Hari Lal Sally. Lining of Earthen Irrigation Channels. Bombay, 1965.
288. Horton R. F. Trasional development of Streams and their Drainage Basins. London, 1966.

289. Houk V. E. Rainfall and runoff in the Miami Valley. Miami (Ohio), Conserv. Dist., Techn. Rpt. No. 8, 1955.
290. Huff W. C. Preventing soil losses during fall, winter and spring. State College of agriculture U. S. Cornell extension. Bulletin, 515, 1942.
291. Karman. Some aspects of the Theory of Turbulent Motion. Cambridge, 1934.
292. Koiler H. On Evaporation from Snow Surfaces. Ark. Geophysik, Bd. 1, No. 8, 1950.
293. Lidon Y. Procedure for estimating occurrence of soil moisture deficiency and excess. Trans. Amer. Soc. of agriculture engineers. Saint Joseph, Mich., Vol. 8, No. 2, 1965.
294. Low Cost Irrigation. Agr. Mach. J., Vol. 18, No. 6, 1964.
295. Moyer-Peter E. and Muller R. Formula for bed load and bed transport. Intern. Ass. Struct. (Res.), vol. 3, App. No. 2, Stockholm, 1943.
296. Neal J. H. Effect of the degree of slope and Rainfall characteristics of runoff and soil erosion. Agr. Eng., Vol. 19, No. 5, 1938.
297. Neal J. H. Soil and water losses as affected by rainfall characteristics. Agr. Eng., vol. 26, No. 11, 1945.
298. Neal J. H. Surface runoff as Factor of Water erosion, — Publ. Assoc. Intern. Hydrol. Scient. No. 53, 1960.
299. Penck A. Theorie der Bewegung der Strandlinie 1934. Akademie der Wissenschaften. Math. Phys. XVIII—XX.
300. Penman H. L. Vegetation and Hydrology. Harpenden. England, 1963.
301. Powers W. Z. Soil Changes due to irrigation and related treatments. Soil Science Soc. Am. Proc, No 4, 1939.
302. Rovelle Roger. Water Scientific American. Sept., 1963.
303. Remson J. A. and Fox G. S. Capillary losses from ground water. Trans Am. Geophys. Union., vol. 36, No 1, 1955.
304. Sundborg A. The river Klap-elven study of fluvial processes. Geografica Annaler. Stockholm, vol. 38, No. 2—3, 1956.
305. Taber S., The Mechanics of front heaving. J. Geology, vol. 38, No. 4, 1930.
306. Thornthwaite C. W. An approach toward a rational classification of climate. Geograph. Rev., No. 38, 1948.
307. Turc L. C. Evaluation des besoins en eau d'irrigation, evapotranspiration potentielle. Ann. Agron., No. 12 (1), 1961.
308. Williams G. P. Evaporation from Snow Covers in Eastern Canada. N. R. C. Division of Build. Ottawa, 1959.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	3
Глава 1. Природные условия и особенности орошения в степной зоне	5
1.1. Физико-географические условия	6
1.2. Особенности орошения в степной зоне	10
1.3. Повторяемость засух и их влияние на урожайность сельскохозяйственных культур	12
1.4. Эрозия почвы и основные мероприятия по борьбе с ней	14
Выводы	21
Глава 2. Агрогидрологические и мелиоративные свойства почв и влагообеспеченность сельскохозяйственных культур	22
2.1. Водно-физические и агрогидрологические свойства почв	23
2.2. Водопроницаемость почв	26
2.3. Влагообеспеченность сельскохозяйственных культур	29
2.4. Устойчивость почв и грунтов к содовому засолению	34
2.5. Осеннее увлажнение почвы в естественных условиях	36
Выводы	40
Глава 3. Ресурсы поверхностных и подземных вод и пути их использования для орошения	42
3.1. Общие сведения о поверхностном стоке	—
3.2. Ресурсы поверхностных вод	43
3.3. Склоновый сток	48
3.4. Весенний склоновый сток с различных сельскохозяйственных угодий	55
3.5. Сток с засоленных почв	59
3.6. Подземные воды	62
Выводы	67
Глава 4. Гидрологические основы лиманного орошения и перспективы его развития	69
4.1. Распределение снежного покрова на малом водосборе (на Приобском плато)	—
4.2. Водный баланс территории для основных элементов водосбора	79
4.3. Испарение со снежного покрова	81
4.4. Инфильтрация в мерзлую почву	83
4.5. Миграция влаги в мерзлую почву	87
4.6. Оросительная норма при лиманном орошении	88
4.7. Влияние лиманного орошения на засоление почв	92
4.8. Основные принципы мелиорации степных озер	96
4.9. Выбор расчетной обеспеченности весеннего стока при проектировании лиманного орошения	97
4.10. Перспективы развития лиманного орошения	101
Выводы	107

Глава 5. Агрогидрометеорологическое обеспечение орошаемого земледелия	109
5.1. Использование поверхностных вод для орошения	110
5.2. Использование подземных вод для орошения	114
5.3. Тепловой баланс орошаемого поля	116
5.4. Водный баланс каштановых почв при поливе дождеванием	130
5.5. Методы определения суммарного испарения	134
5.6. Режим и способы орошения	140
5.7. Противофильтрационные мероприятия	161
5.8. Режим грунтовых вод на орошаемых массивах	162
Выводы	163
Глава 6. Сельскохозяйственное освоение и экономическая эффективность орошения	164
6.1. Агроэкономический эффект орошения	—
6.2. Экономическая целесообразность орошения	166
6.3. Сельскохозяйственное освоение орошаемых земель	173
Выводы	174
Глава 7. Гидролого-мелиоративное районирование	176
7.1. Сущность и состояние вопроса	—
7.2. Районирование по водным ресурсам и их возможному использованию	177
7.3. Природно-мелиоративное районирование	179
7.4. Комплексное гидромелиоративное районирование	—
Заключение	196
Литература	199

гос. архив
м.м.
ф. 100

CONTENTS

Preface	3
Chapter 1. Natural Conditions and Irrigation of the Heath Area . . .	5
1.1. Physical geography of the heath area	6
1.2. Irrigation of heath and its special features	10
1.3. Frequency of drought occurrence and crop yield	12
1.4. Erosion of soil and means of its decreasing	14
Conclusions	21
Chapter 2. Agrohydrological Properties of Soil, Amelioration and Water Supply for Crops	22
2.1. Agrohydrological and physical properties of soil	23
2.2. Water permeability of soil	26
2.3. Water supply for crops	29
2.4. Stability of soil with regard to sodium salting	34
2.5. Natural moistening of soil in autumn	36
Conclusions	40
Chapter 3. Resources of Surface and Underground Water and Their Use for Irrigation	42
3.1. Elements of surface runoff	—
3.2. Resources of surface water	43
3.3. Overland flow	48
3.4. Overland flow from different cultivated lands in spring	55
3.5. Runoff from salted soil	59
3.6. Underground water	62
Conclusions	67
Chapter 4. Hydrological Basis of Firth Irrigation, Future Developments of Firth Irrigation	69
4.1. Distribution of snow cover over small catchment area	—
4.2. Water balance of major elements of catchment	79
4.3. Evaporation from snow cover	81
4.4. Infiltration through a frozen ground	83
4.5. Migration of moisture through a frozen ground	87
4.6. Irrigation normals in the case of firth irrigation	88
4.7. Effects of firth irrigation upon salting of soil	92
4.8. Principles of amelioration of lakes in heath area	96
4.9. Selection of calculated integral probability of spring runoff for the purposes of firth irrigation design	97
4.10. Future developments of firth irrigation	101
Conclusions	107
Chapter 5. Agrohydrometeorology of Irrigated Lands	109
5.1. Use of surface water for irrigation	110
5.2. Use of underground water for irrigation	114
5.3. Heat balance of irrigated field	116

5.4. Water balance of chestnut soil under artificial watering	130
5.5. Methods of measuring total evaporation	134
5.6. Regime and means of irrigation	140
5.7. Measures against infiltration	161
5.8. Estimation of groundwater depth in area of irrigation	162
Conclusions	163
Chapter 6. Irrigation in Agriculture and Its Economical Efficiency . .	164
6.1. Economical efficiency of irrigation in agriculture	—
6.2. Economical expediency of irrigation	166
6.3. Agricultural works on irrigated lands	173
Conclusions	174
Chapter 7. Classification of Lands (Hydrology and Amelioration) . .	176
7.1. General considerations	—
7.2. Classification of lands in accordance with water resources and their possible use	177
7.3. Classification of lands, amelioration aspect	179
7.4. Full classification, amelioration and hydrological aspects	—
Resumé	196
References	199

МОСИЕНКО НИКОЛАЙ АЛЕКСАНДРОВИЧ

Агрогидрологические
основы орошения
в степной зоне

Научный редактор И. А. Кузник
Редактор А. С. Андреева
Художник Б. А. Быков
Техн. редактор Г. В. Ивкова
Корректор Н. А. Балкина

Сдано в набор 25/IV 1972 г. Подписано к печати 8/IX 1972 г.
М-08344. Бумага 60×90¹/₁₆, типогр. № 1. Печ. л. 14,25 в т. ч. 2 вкл.
Уч.-изд. л. 16,15 с вкл. Тираж 1500 экз. Индекс АЛ-88. Заказ 216.
Цена 1 р. 72 к. Гидрометеонадат, Ленинград, В-53, 2-я линия.
д. 23.

Ленинградская типография № 8 Главполиграфпрома
Комитета по печати при Совете Министров СССР.
Ленинград, Прачечный пер., 6