

О. ИЗРАЭЛЬСЕН

НАУЧНЫЕ  
ОСНОВЫ  
И ПРАКТИКА  
ОРОШЕНИЯ

ОГИЗ • СЕЛЬХОЗГИЗ

1936

631.6  
И-39

О. ИЗРАЭЛЬСЕН  
ПРОФЕССОР ОРОШЕНИЯ И МЕЛИОРАЦИИ  
АГРОНОМИЧЕСКОГО КОЛЛЕДЖА ШТАТА ЮТА (США)

# НАУЧНЫЕ ОСНОВЫ И ПРАКТИКА ОРОШЕНИЯ

ПЕРЕВОД С АНГЛИЙСКОГО  
И. В. КРАСОВСКОЙ

Под редакцией  
профессора д-ра Н. А. МАКСИМОВА

р-6442  
10-43

ӨзДҚ-ХІ ҒҮҮЛІҒАНАСІ  
БИБЛИОТЕКА УЗ С-ХИ



ГОСУДАРСТВЕННОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО  
КОЛХОЗНОЙ И СОВХОЗНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ  
«СЕЛЬХОЗГИЗ»  
МОСКВА — 1936

631.4 Доч. 627  
II 39

IRRIGATION PRINCIPLES  
AND PRACTICES

BY

ORSON W. ISRAELSEN, PH. D.  
Professor of Irrigation and Drainage,  
Utah State Agricultural College

## ПРЕДИСЛОВИЕ РЕДАКТОРА ПЕРЕВОДА

Хотя общая площадь орошаемых земель в Северной Америке составляет менее  $\frac{1}{5}$  площадей орошаемых земель Азии и Африки—этих стран древнейших ирригационных систем, тем не менее именно американский опыт в данной области представляется для нас особенно ценным и интересным. В США имеется большое число опытных учреждений, занимающихся вопросами орошаемого земледелия, которыми проделана большая работа по подведению строго научного базиса под практику орошения. Кроме того, и климатические условия районов орошаемого земледелия в США ближе к условиям районов СССР, в которых осуществляется орошение, чем климатические условия Индии, Египта и Китая. И то видное место, которое отводится орошению в борьбе с засухой в наших приволжских степях, делает для всех работников орошаемого земледелия настоятельно необходимым ознакомление с новейшими американскими достижениями в оросительном деле.

Книга О. Израэльсена, профессора ирригации в сельскохозяйственном колледже штата Юта, являющемся важнейшим научным центром США по вопросам орошаемого земледелия, как раз и содержит в себе, хотя и в очень сжатой форме, изложение американского опыта в области орошаемого земледелия. От многих других руководств по ирригации книга Израэльсена выгодно отличается тем, что здесь в достаточной степени охватываются вопросы полеводства на орошаемых землях и особенности орошения отдельных сельскохозяйственных растений. Вопросы, относящиеся к компетенции ирригатора-полевода, в ней не вытесняются, но скорее даже преобладают над вопросами инженерно-мелиоративного характера.

Представляя в основе своей учебник для студентов сельскохозяйственных колледжей США, книга Израэльсена рассчитана также и на практиков орошаемого земледелия. Вполне естественно и неизбежно, что на характере изложения и на выборе материала не могли не отразиться особенности сельского хозяйства США, в котором преобладает мелкое фермерское землевладение. В условиях социалистического сельского хозяйства эта книга поэтому не может служить учебником, а лишь пособием, из которого можно почерпнуть важнейшие результаты, накопленные американской практикой и наукой, с тем, чтобы преломить и использовать эти результаты в приме-

нейни к задачам крупного социалистического земледелия нашей страны. Не изменяя характера изложения книги талантливого американского профессора и не внося в книгу существенных изменений, которые неизбежно носили бы суб'ективный характер, мы сочли однако возможным опустить гл. XVI оригинала, в которой дана трактовка ирригации с юридической и административной точек зрения, так как эта глава не представляет интереса для советских читателей. На том же основании опущены отдельные места других глав, касающиеся подобных вопросов, а также последняя глава (гл. XXIV оригинала), разбирающая задачи, стоящие перед ирригационным делом в США. Точно так же мы опустили ряд таблиц справочного характера, например, таблицы для вычисления расхода воды по водосливам, так как считаем, что подобным таблицам не место в кратком изложении основ ирригации, тем более, что заинтересованные в таких вычислениях лица могут найти их в имеющихся на русском языке инструкциях. Кроме того, все эти таблицы приводятся Израэльсеном в англо-американских мерах (акры, футы и т. п.) и их пришлось бы составлять заново.

Вообще, вопрос об употребляемых в книге мерах представлялся при переводе довольно трудным для разрешения. Вначале, естественно, явилось желание перевести все англо-американские меры в метрические. Но от этой мысли пришлось отказаться потому, что в этих же мерах даны и все чертежи и диаграммы, которые в таком случае потеряли бы связь с текстом. Представилось необходимым поэтому сохранить почти везде меры англо-американские с приведением в конце книги краткой переводной таблицы и, кроме того, заменить их метрическими там, где это можно было сделать без ущерба для связи с иллюстрационным материалом и текстом.

Большую помощь при редактировании книги оказали инженеры-мелиораторы Всесоюзного института зернового хозяйства — Д. И. Артемьев, П. И. Бочаров и С. С. Заводнов, которым приношу свою признательность, равно как и доценту В. П. Жузе, взявшему на себя труд просмотреть главы, посвященные физическим свойствам почвы.

В заключение позволяю себе выразить надежду, что книга О. Израэльсена, пользуясь, по свидетельству академика Н. И. Вавилова, большим успехом в США, окажется полезной и для работников нашего орошаемого сельского хозяйства и поможет им в выработке и осуществлении мероприятий, направленных к дальнейшему под'ему урожайности орошаемых культурных растений.

**Проф. Н. Максимов.**

Саратов. Всесоюзный институт  
зернового хозяйства  
Февраль 1936 г.

## ОТ АВТОРА

Моей основной целью при составлении настоящей книги было пойти навстречу учащимся колледжей и университетов, ищущим сведений по орошению с иной стороны, чем оно рассматривается в работах, касающихся инженерной техники орошения. Эта сторона проблемы орошения, объединяющая вопросы агрономического характера, представляет особый интерес для агрономов-инженеров, но небезынтересна и для инженеров-строителей. Хотя в первую очередь имелись в виду запросы студентов и поэтому особенное внимание было направлено на научные основы ирригации, тем не менее книга содержит в себе и значительный материал по описанию современных методов и практики орошения.

Кроме ответа на запросы студентов, я также стремился включить материал, представляющий ценность для лиц, руководящих оросительным делом, которые сознают необходимость правильного использования и распределения оросительной воды в целях поддержания доходного земледелия в засушливых районах.

Опыт преподавания курса\* практики орошения студентам-агрономам и инженерам, а также и преподавание курса проектирования оросительных и дренажных систем студентам-инженерам убедил меня в том, что элементарные уравнения представляют большую ценность для тех и других слушателей. Например, мне кажется, что студенту, прошедшему основы алгебры, включая логарифмы, значительно легче уяснить себе влияние шероховатости поперечного сечения и уклона на скорость течения и расход воды в канале при помощи уравнений, приведенных в гл. II, чем путем многословных описаний, без применения условных обозначений и уравнений. Студент, обладающий минимумом математических знаний, необходимых для вступления в колледж, при некотором напряжении, даже без помощи инструктора, может вполне ясно понять все приведенные уравнения и лежащие в их основе принципы, разве только за исключением тех, которые приведены в гл. гл. X и XV. Весьма возможно, что при анализе и применении уравнений этих двух последних глав потребуется помощь преподавателя.

Инженеры-иригаторы и агрономы, особенно почвоведы и растениеводы, все более и более убеждаются в необходимости

углубленного изучения физических свойств почвы, как основы рационального усовершенствования практики орошения. Было бы значительно легче достичь равномерного распределения оросительной воды и надлежащей (но не чрезмерной) глубины ее проникания в почву, если бы было возможно простым наблюдением установить, как глубоко вода проникает в почву, и оценить непосредственно количество воды, запасенное в каждом футе почвы. Но так как это не удается установить простым наблюдением, приходится прибегать к косвенным путям. Уравнения гл. IX являются простыми практическими приемами, применяя которые ирригаторы, зная проценты влажности типичных почв до и после орошения, могут лучше понять, что делается с водой после ее дачи почве.

Изучение передвижения воды в почвах сопряжено с трудностями вследствие того, что здесь замешано много изменяющихся факторов. При обсуждении этой темы в гл. X нами было принято несколько допущений, упрощающих вопрос.

Продуктивному использованию воды при орошении содействуют знания о расходе воды на потребление — тема, которая за последние годы приобрела чрезвычайно большой интерес. Требуется еще очень много опытных данных для выяснения соотношения между урожаем растений и израсходованной водой — темы, обсуждаемой в гл. XV. Не менее важно правильное истолкование опытных данных; в этом отношении в гл. XVII применяется сравнительно новый аналитический метод.

До настоящего времени в деле орошения еще не имеется общепринятого определения понятия продуктивности.

В настоящей книге предложено несколько таких определений, и можно надеяться, что они будут стимулированы дальнейший интерес и подвергнутся внимательному обсуждению со стороны научных работников оросительного дела для приведения их к общеприемлемой формулировке.

Кратко суммированные сведения относительно орошения важнейших культурных растений представят, вероятно, интерес не только для студентов, но и для более широкого круга читателей.

В местностях влажного климата наблюдается возрастающий интерес к орошению пропашных растений, плодовых садов и огородов. Поэтому в настоящей книге вкратце рассмотрены возможности орошения для данных условий.

При подготовке настоящей книги я попытался использовать всю доступную литературу по вопросам орошения. Широко использованы публикации агрономических опытных станций департамента земледелия США.

Каждая глава сопровождается кратким перечнем литературы.

Прошу читателей все замечания по содержанию книги сообщать автору.

**Орсон В. Изразльсен.**

## ГЛАВА I

### ВВЕДЕНИЕ

Искусственное орошение известно со времени глубокой древности. В США и в Канаде орошение применяется сравнительно недавно.

В настоящей книге рассматриваются некоторые научные основы и практические указания, существенные для поддержания постоянной доходности земледелия при помощи орошения.

**1. Определение орошения.** Орошение определяется как искусственная подача воды в почву с целью снабжения растений влагой, необходимой для их роста. Вода может подаваться либо различными способами затопления, либо пропуском ее по большим или малым бороздам, либо путем подземного орошения, при котором она пропускается под поверхностью земли, вызывая таким образом подъем грунтовых вод, либо, наконец, путем дождевания поверхности земли. Все эти методы подачи воды можно рассматривать как различные виды орошения.

В местностях, обычно относимых к влажным, полевые культурные растения могут удовлетворительно произрастать из года в год без орошения — необходимая влажность почвы поддерживается осадками. В других местностях осадки лишь в некоторые годы доставляют полностью требуемое культурными растениями количество воды, в прочие же годы обеспечивают их водой лишь частично. В годы недостаточного количества осадков в таких районах целесообразно давать дополнительную воду путем орошения, причем ценность полученного таким путем повышения урожая зерна превышает расходы по орошению. В местностях с очень низкими годовыми осадками, а также и в таких, где в период вегетации полевых культурных растений осадки весьма незначительны или отсутствуют вовсе, даже в том случае, если общие годовые осадки довольно высоки, ежегодное орошение полевых культурных растений является необходимым. Однако почти во всех районах, где применяется орошение, растения все же получают некоторое количество воды от осадков в форме почвенной влаги, запасенной либо от предшествующего вегетации дождливого периода года, либо от осадков, выпавших непосредственно во время вегетационного периода.

Таким образом ясно, что орошение является по существу практическим средством для дополнения естественного количе-

ства осадков, необходимых для выращивания культурных растений.

**2. Распространение орошения.** Полагают, что одна треть земной поверхности получает ежегодно менее 10" (250 мм) воды, а другая треть только от 10 до 20" (250—500 мм). Бюро торговли США в недавно опубликованных материалах дает следующую схематическую картину географического распределения районов с недостаточным количеством осадков: юго-западная часть Африки, Южная Америка и Австралия; северная часть Африки; северные и западные части Северной Америки и Азии и части южной Европы. Эти пространства включают части Канады на запад от 100 меридиана, северо-западную Индию до Ганга, большую часть Австралии, Палестину и Ирак, значительные части южной Африки со смежными районами и Судан. Имеются также полузасушливые районы в Китае, Японии, Туркестане, Египте, западных штатах Северной Америки, в Мексике и в странах Южной Америки. Общая орошаемая площадь по всему земному шару по данным Бюро торговли распределяется следующим образом:

| Континенты                 | Орошаемые<br>земли<br>(в млн. га) |
|----------------------------|-----------------------------------|
| Северная Америка . . . . . | 10,7                              |
| Южная Америка . . . . .    | 2,6                               |
| Европа . . . . .           | 5,9                               |
| Азия . . . . .             | 56,2                              |
| Африка . . . . .           | 4,0                               |
| Австралия . . . . .        | 0,5                               |

Всего . . 79,9

Отсюда видно, что на земном шаре имеется около 80 млн. га орошаемых земель, из которых на Азию приходится около 3/4, а на Северную Америку — немного более 1/8. Наибольшая часть орошаемых земель в Северной Америке находится в западных штатах — приблизительно около 8 млн. га. Примерное расположение этих орошаемых земель видно на карте (рис. 1). Имеются в настоящее время также некоторые орошаемые земли и в восточных штатах (см. подробнее в гл. XXII), но в виду того, что площадь их сравнительно незначительна, на карте они не показаны. В некоторых частях восточных штатов естественные дожди обычно достаточны для удовлетворения потребности культурных растений. Часть запада, как-то центральная и южная Калифорния, зависит почти целиком от орошения, так как количество воды, получаемое от осадков в течение вегетационного периода, здесь недостаточно.

**3. Характер орошаемого земледелия.** Первоначально масштаб оросительных работ ограничивался небольшими плотинами и короткими канадами, в настоящее же время для снабжения водой обширных орошаемых пространств требуются большие дамбы, обширные водохранилища, отводные водосливные плотины, головные плиты, мощные насосы, длинные каналы с жоло-

бами, сифоны, туннели, перепады, быстротоки, спускные водосливы и шлюзы.

Хотя эти приспособления по преимуществу инженерного характера и относятся к той стороне орошения, которой настоящая книга касается лишь в ограниченной степени, они все же

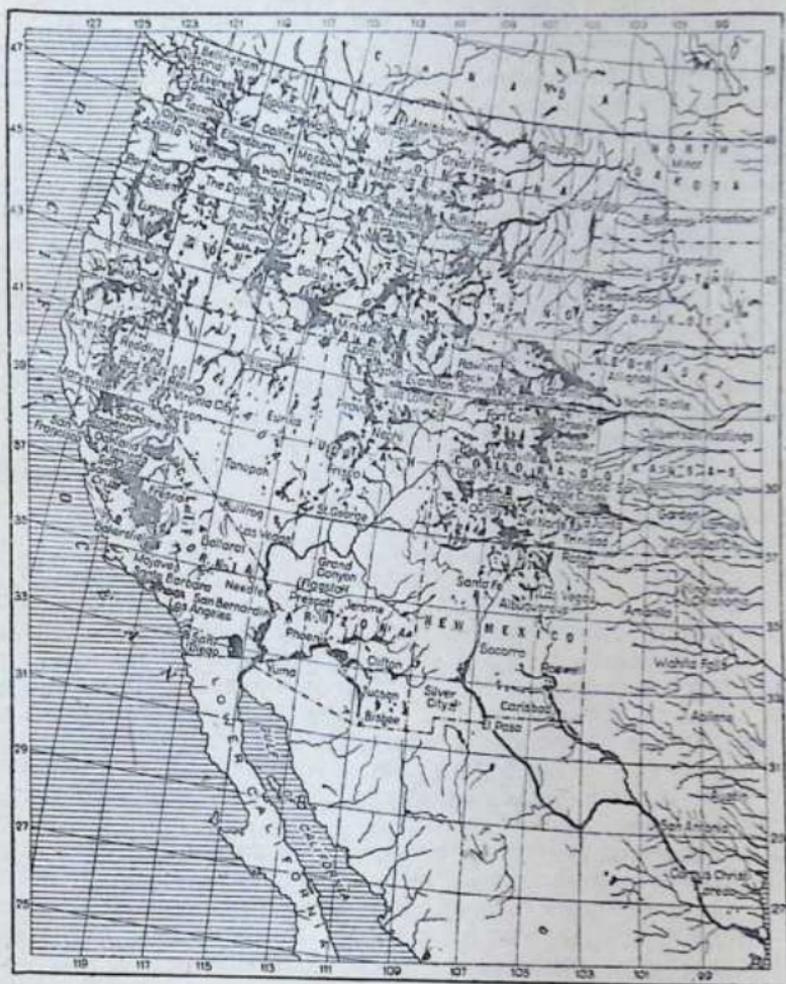


Рис. 1. Карта Западной части США, показывающая примерное распределение и величины орошаемых площадей (Бюро ценса США).

очень важны для орошаемых хозяйств, задача которых так использовать воду, ставшую доступной благодаря этим дорогим работам, чтобы она доставила доход, окупающий стоимость устройства и поддержания оросительной системы.

Американское орошение находится еще в начальном периоде и только приближается к полному развитию. Вначале усилия

были направлены к выполнению первоначальных задач по орошению в пустынных районах: сооружение дамб и каналов примитивными орудиями и собственными руками человека, иногда лишь при помощи волов или лошадей. В настоящее время задачи в области орошения и усилия к их разрешению носят иной характер. Теперь строятся массивные вододерживающие плотины, равно как и длинные отводные каналы и другие оросительные сооружения. Эти сооружения вместе с силовыми установками оросительных систем требуют надлежащего руководства работами со стороны опытных инженеров и агрономов.

**4. Состояние орошения в США в настоящее время.** Задача использования всех земель засушливых районов США, которые в конечном итоге должны быть орошены, выполнена приблизительно только наполовину. Из земель, которые должны быть орошенными, вероятно 50% еще остаются пока бесплодными вследствие недостатка воды. Капитальные вложения, необходимые для мелиорации остающейся половины земель, должны далеко превысить капитальные вложения, которые были сделаны для снабжения водой пространств, орошаемых в настоящее время. Еще предстоит построить самые обширные резервуары, самые длинные каналы, самые дорогие туннели и самые глубокие дюкера (обратные сифоны). Точно указать время, когда эти монументальные сооружения будут выполнены для полного использования потребной воды, очевидно невозможно.

**5. Различные стороны орошения.** С орошением связано много различных вопросов, с которыми приходится сталкиваться населению засушливых местностей. Десятки и даже сотни лет стойчивые люди в различных странах трудились по разрешению задач отвода, передачи, распределения и использования воды для производства сельскохозяйственных продуктов. Население засушливых местностей посредством орошения получает возможность побороть бесплодие или низкую производительность почвы, вызванную недостатком влаги, но при этом следует учитывать, что после нескольких лет орошения некоторые почвы вновь становятся бесплодными уже вследствие избытка воды, заболачивания и засоления.

**6. Инженерно-техническая сторона в орошении.** Инженер ответствен за проектирование и постройку сооружений, необходимых для собирания, отвода, передачи, снабжения и распределения воды в орошаемых хозяйствах. Необходимо, чтобы оросительные сооружения были основательно построены, так, чтобы на них можно было с полной надежностью положиться в критические периоды. Прорыв вододерживающей плотины не только причиняет крупные убытки, но иногда сопровождается и многочисленными человеческими жертвами. Разрыв отводной дамбы или прорыв канала наносит ущерб не только урожаю данного года вследствие недостатка воды в то время, когда она наиболее нужна, но также ведет к потере средств, вложенных в эти работы. Современное орошение требует также, чтобы технические сооружения были построены возможно более экономно. Некоторые системы так построены, что значительные количества

воды накачиваются насосами из рек, озер и водохранилищ. Проектирование и установка подходящего оборудования и насосов также лежат на ответственности инженера. Многие выдающиеся оросительные сооружения на западе США молчаливо, но убедительно свидетельствуют о замечательных достижениях американских инженеров. Менее заметная, но не менее ответственная задача, стоящая перед инженером-оросителем, — это установление потребности в воде и снабжение ею обширных пространств орошаемых земель. Потребности в воде орошаемых земель очень различны; снабжение их водой также значительно колеблется. Надежное предсказание приблизительного поступления воды из речной системы из месяца в месяц и из года в год возможно исключительно на основе тщательного изучения количества выпадающих осадков (дождя и снега) и расхода воды системой за много лет. Много «грубых расчетов» делается по необходимости в первые годы орошения. К сожалению, расчеты снабжения водой бывают большей частью слишком преувеличены, а расчеты потребности слишком занижены, из чего вытекают пагубные последствия для многих оросительных систем. Инженеры достигли замечательного прогресса в умении разрешать задачи орошения, но и возможности для дальнейшего усовершенствования еще велики; для лучших результатов инженеры должны работать в тесном контакте с учеными почвоведомы и растениеводами.

**7. Агрономическая сторона орошения.** Агрономическая сторона орошения главным образом касается использования воды для хозяйств или, выражаясь иначе, для практики орошения. Естественно поэтому, что значительно большая часть населения непосредственно ближе заинтересована агрономической, чем инженерной стороной орошения. Действительно, каждое орошаемое хозяйство должно разрешить много важных вопросов, касающихся практики орошения, и некоторые из этих вопросов должны быть разрешаемы ежегодно — они не могут быть разрешены раз навсегда. Например, не существует определенных правил, применимых для всех местностей засушливых районов, различающихся по метеорологическим условиям, для всех почв и для всех культурных растений при установлении сроков поливов. Точно так же для многих орошаемых хозяйств неясен вопрос об оросительной норме, т. е. об общем количестве воды, потребном на сезон для получения наивысшего урожая сельскохозяйственных растений в различных климатических и почвенных условиях.

Остальные агрономические вопросы, связанные с орошением, касаются определения того количества воды, которое нужно дать почве за один полив, т. е. поливных норм, выявления лучших методов полива в смысле возможно более равномерного распределения воды, емкости различных почв по отношению к поливной воде и, наконец, передвижения воды в различных орошаемых почвах.

Для лиц, хорошо осведомленных в агрономических вопросах, связанных с орошением, является аксиомой, что для наиболее

полного и наилучшего использования поливной воды необходимо, чтобы применяемые методы и практика базировались на природных условиях данной местности. Этими условиями являются главным образом климатические и почвенные. Очевидно, что и выращиваемые культурные растения необходимо выбирать, сообразуясь с условиями, в которых ведется хозяйство. Инженер-агроном обязан найти те данные, которыми он мог бы помочь водопользователям правильно ответить на многие неясные для них вопросы в отношении агрономической стороны орошения.

**8. Климат и орошение.** Снег, дождь, ветер, влажность воздуха, температура, солнечный свет, продолжительность вегетационного периода — все эти климатические факторы оказывают влияние на практику орошения. В некоторых местностях, как, например, в некоторых частях Аризоны, Калифорнии, Новой Мексики и западного Техаса, орошение практикуется ежегодно в течение 10—12 месяцев и является необходимым для обеспечения урожая полевых культурных растений. В других местностях, как, например, в западной Канаде, осадки в некоторые годы столь обильны, что польза орошения является сомнительной или же орошение дает результаты отрицательные. Необходимо, следовательно, помнить, что орошение является в своей основе практическим пополнением той части естественных осадков, которые доступны культурным растениям. В связи с этим количество воды, потребляемой для орошения, меняется в зависимости от места и времени сообразно с изменением количества естественных осадков. Существует очень немного таких засушливых долин, где естественные осадки так незначительны, что они не представляют никакой ценности для земледелия. Как общее правило, получаемая в виде осадков влага должна быть тщательно сохранена для использования растениями, и необходимо принимать ее во внимание при оценке потребности в орошении почвы и культурных растений.

**9. Почва и орошение.** Влияние свойств почвы на практику орошения имеет большое значение. Следует сказать, что обычно влияние почвы на орошение недооценивается. Некоторые почвы состоят из грубых, рыхло сложенных частиц и весьма проницаемы для воды, другие — из плотно сложенных мелких частиц и почти непроницаемы для воды. Исследования последнего времени показывают, что в некоторых почвах вода передвигается в несколько тысяч раз скорей, чем в других. Проницаемость почвы оказывает большое влияние на орошение. Сильно проницаемые почвы обнаруживают тенденцию терять значительное количество воды вследствие глубокого просачивания, тогда как непроницаемые почвы трудно увлажнить в достаточной степени. Почвы служат как бы водохранилищами, в которых поливная вода сохраняется для удовлетворения потребностей растений в межполивные периоды. Величина частиц почвы, плотность их сложения, глубина почвы, содержание в ней органических веществ и уровень грунтовых вод — все это влияет на количество воды, которое может быть запасено в данной почве за один полив, а отсюда и на потребную частоту поливов.

Глубина почвы также в значительной степени обуславливает ее водозапасающую способность, а вместе с тем и необходимую частоту поливов. Нужно всегда помнить, что существование в разных местностях различий в размерах почвенных частиц, плотности сложения почв, в их проницаемости и глубине залегания является правилом, а не исключением. И действительно, единообразие в естественных почвах не существует. Следовательно, всякому хозяйству очень важно самым тщательным образом изучить свою почву, чтобы организовать орошение, полностью сообразуясь с ее свойствами. Почвы засушливых районов различаются не только по физическим свойствам, которые оказывают непосредственное влияние на методы орошения и потребность в воде, но также и по химическим свойствам, т. е. по наличию необходимых для растений питательных веществ и по отсутствию чрезмерного количества токсических или вредных растворимых солей. В некоторых случаях производительность почвы из года в год падает вследствие постепенного подъема грунтовых вод и засоления.

Вышеописанные условия плодородия почвы свойственны орошаемым районам. Ясно однако, что орошаемые хозяйства подобно хозяйствам влажного климата должны разумно поддерживать производительность почвы даже самых лучших земель. Детальное рассмотрение методов поддержания плодородия почвы выходит за пределы настоящей книги. Достаточно упомянуть здесь, что опытом хозяйств наиболее давно орошаемых участков западных штатов Северной Америки установлен тот факт, что в целях поддержания высокой производительности почвы необходимы разумный уход за почвой, а также внесение навозного удобрения или запахивание сидеральных растений или применение других удобрений.

## ГЛАВА II

### ИСТОЧНИКИ И СПОСОБЫ ПРОВЕДЕНИЯ ОРОСИТЕЛЬНОЙ ВОДЫ

Дождь и снег являются основными источниками воды для оросительных целей. Как правило, осадки, выпадающие в долинах орошаемых областей, имеют сравнительно мало значения в качестве источника воды для орошения; главным источником являются те осадки, которые выпадают в горах. Успех каждой оросительной системы зависит в значительной мере от достаточности и надежности снабжения их водой. Поэтому чрезвычайно важно, чтобы в орошаемых областях из года в год постоянно производился учет количества осадков и воды в реках, что могло бы служить руководством и основанием для разумного и полного использования водных ресурсов.

**10. Осадки и температура.** Влажность и тепло — важнейшие условия роста всех культурных растений. Однако в орошаемых областях эти важнейшие условия обычно не совпадают по периодам времени. Чаще всего наибольшее количество осадков приходится на холодные месяцы, когда рост растений невозможен, и меньшее количество — на безморозные месяцы, в течение которых происходит рост растений. В некоторых орошаемых равнинах, а именно — в Неваде и Калифорнии, осадки в течение сезона наиболее быстрого роста так ничтожны, что не имеют никакого значения для культурных растений. Насколько осадки незначительны в течение месяцев с наивысшей средней температурой, показано на рис. 2—3, на котором изображено среднее количество осадков вместе со средними минимальными и средними максимальными температурами для каждого месяца в некоторых городах штатов Юта, Орегон, Невада и Калифорния.

**11. Годовые осадки.** Области с большим количеством годовых осадков считаются влажными; те же, которые ежегодно получают только небольшое количество осадков, относятся к полупустынным или засушливым. Количество годовых осадков на поверхности земного шара широко колеблется: от нуля в таких пустынных областях, как Асуан (Египет), и до 600" (15 000 мм и более) в Ассаме (Индия). Если годовые осадки достигают 30" (750 мм) или более, для нормального роста культурных растений орошения не требуется. Однако в некоторых местностях, как, например, в некоторых частях Гавайских островов, несмотря на то, что количество годовых осадков там велико, орошение является необходимым вследствие того, что обильные дожди выпа-

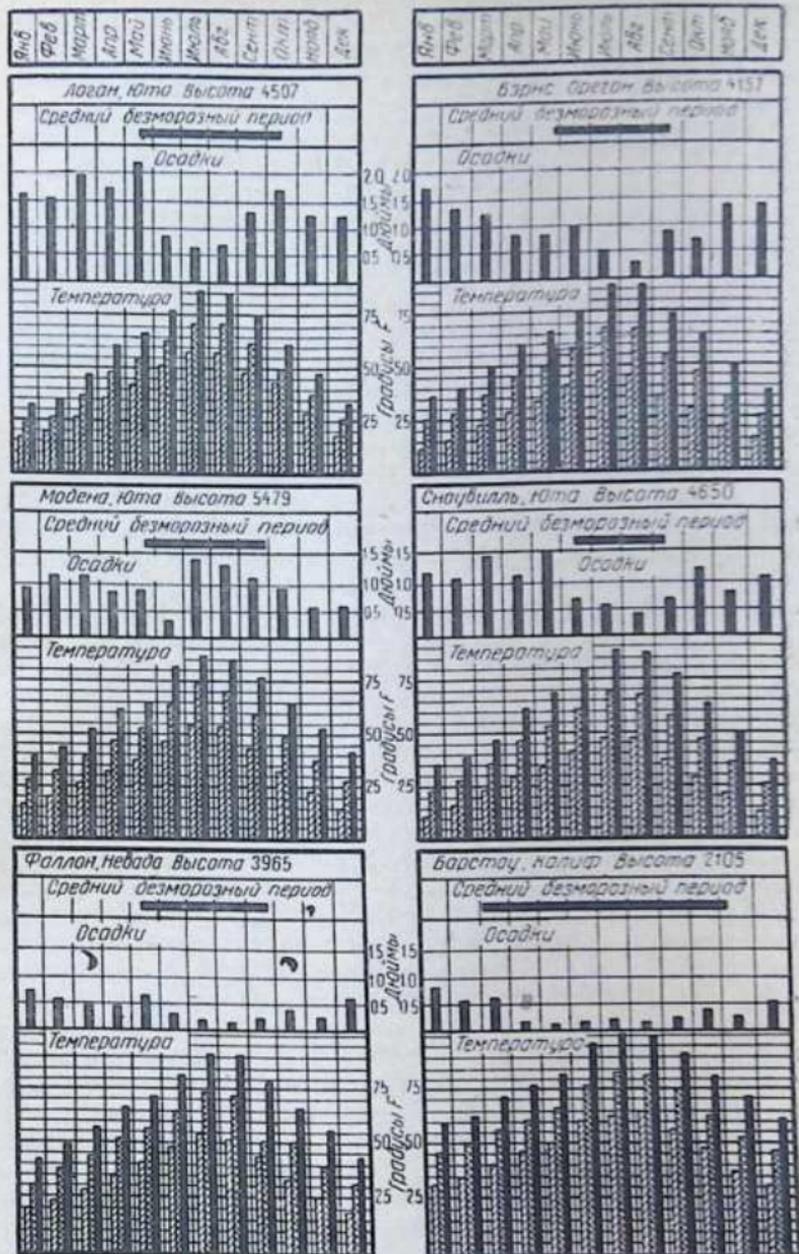


Рис. 2—3. Климатологические схемы для нескольких типичных станций США, показывающие безморозный период, среднemesячные осадки, средние минимальные (полосатые столбики), средние суточные (столбики, заштрихованные накрест) и средние максимальные (зачерненные столбики) температуры.

дают там в сезон покоя растительности. В других местах, как например, на востоке США, засушливые периоды во время сезона вегетации наносят иногда серьезный ущерб урожаю культурных растений и орошение в эти периоды становится особенно необходимым.

Характер распределения среднего количества годовых осадков в США (как это хорошо видно на карте, составленной Генри Ганнет по данным, собранным Бюро геологического обследования и Бюро метеорологии США) представляется в таком виде: по направлению на восток от 101-го меридиана среднее количество годовых осадков увеличивается примерно от 20" (500 мм) до 25" (875 мм) близ штатов Великих Озер и до 50" (1250 мм) и более в юго-восточных штатах. В восточных частях штатов Дакота, Небраска, Канзас, Оклахома и Техас орошение необходимо только в засушливые годы, тогда как в западных районах этих штатов потребность в орошении имеется почти всегда.

По этим же данным видно, что в количестве средних годовых осадков в западных штатах существуют большие различия. Однако все пахотные земли, находящиеся на западе от 101-го меридиана, за исключением отдельных частей штатов Монтана, Орегон и Вашингтон, обыкновенно увеличивают урожайность при орошении.

**12. Осадки долин и гор.** Дождь и снег, выпадающие на орошаемые долины западных штатов, ценны как источники влаги непосредственно доставляемой почве. В некоторых долинах зимние осадки дают достаточно влаги для прорастания семян и для поддержания роста молодых растений в течение нескольких недель. В этих долинах многолетние растения, используя запасы в почве зимние осадки, успешно развиваются в раннее время года. Другие же долины получают так мало осадков зимой, что фермеры вынуждены орошать свои поля перед посевом для того, чтобы обеспечить достаточное количество влаги для прорастания семян и создать удовлетворительные условия для начала роста культурных растений. Ясно, что такие долины в отношении источников для орошения почти всецело находятся в зависимости от дождя и снега, которые выпадают в соседних горных областях. Действительно, можно принять за правило, что во всех орошаемых областях осадки, выпадающие в долинах, имеют сравнительно мало значения в качестве источника для орошения, тогда как осадки, выпадающие в горах, являются главным источником снабжения водой. Это вполне естественное явление ставит перед населением засушливых областей интересные, но сложные задачи по проведению воды из горных источников на земли долин. Оно вызывает также неотложную необходимость тщательного изучения сезонного и годового накопления количества воды, которое могут дать горные местности за счет выпадающих дождей и снега.

**13. Изучение водообеспеченности.** Накопление надежных сведений, касающихся обеспеченности водой, требует разумной, тщательной и весьма длительной работы. Чрезмерный оптимизм и заключения, основанные на недостаточном знакомстве с вели-

чиной стока с данной водосборной площади, слишком обычные для многих оросительных систем западных штатов, обошлись чрезвычайно дорого. Переоценка водных ресурсов во многих системах часто приводила к тому, что в действительности через 20—30 лет после закладки системы и установления ее первоначальных размеров удавалось оросить только небольшую часть намеченной площади. Конечно, эти переоценки были произведены в периоды влажных годов и сопровождались губительными последствиями в период засушливых лет. Повторяемость этих климатических циклов, которые еще до сих пор не могут быть с точностью предсказаны, так же как и значительные колебания количества осадков и речного стока в разное время года, осложняют проблему использования всех доступных ежегодно запасов воды. Несмотря на это, можно до известной степени разумно приспособлять оросительные системы, основываясь на надежных сведениях о водных ресурсах, полученных путем измерения запасов воды в виде снежного покрова.

**14. Природные источники.** При первоначальном развитии орошения в США природные речные источники доставляли всю воду, потребную для орошения. В большинстве природных речных источников вода значительно убывает в течение последних летних месяцев, когда требуется наибольшее снабжение водой. Иллюстрацией этого факта служит рис. 4, изображающий ежемесячный сток трех типичных рек Великого бассейна Северной Америки.

Средний месячный сток реки Логан-Ривер (Юта) для августа составляет только 12 000 акро-футов (14,4 млн. куб. м) по сравнению с 48 000 акро-футами (57,6 млн. куб. м) в июне. Проф. Клайд, на основании произведенных вычислений за 34-летний период, недавно установил, что средний годовой сток реки Логан-Ривер равняется 228 000 акро-футам (273,6 млн. куб. м). Таким образом несомненно, что для использования всей воды западных рек Северной Америки для ирригационных целей необходимо удерживать паводковые воды в водохранилищах до тех пор, пока явится потребность в орошении полей.

**15. Открытые водохранилища.** В западных штатах построено уже много открытых водохранилищ. Емкость каждого водохранилища определяется естественными условиями ущелья или долины, где должна запастись вода, а также высотой дамбы, достаточной для накопления необходимого количества воды. Эта емкость колеблется от небольшого количества акро-футов в притоках маленьких рек и почти до 2 млн. акро-футов (2 400 млн. куб. м) для некоторых новых государственных водохранилищ США. Точно так же и дамбы, построенные для целей орошения, сильно варьируют, а именно: от дешевых, всего лишь в несколько десятков см высоты, до массивных каменных сооружений свыше 90 м высоты и стоимостью в несколько миллионов долларов. Полагают, что еще добрая половина ежегодного запаса воды в западных штатах может быть использована для орошения. Из той половины запаса воды, которая потребляется в настоящее время для орошения, вероятно более 25 млн. акро-футов

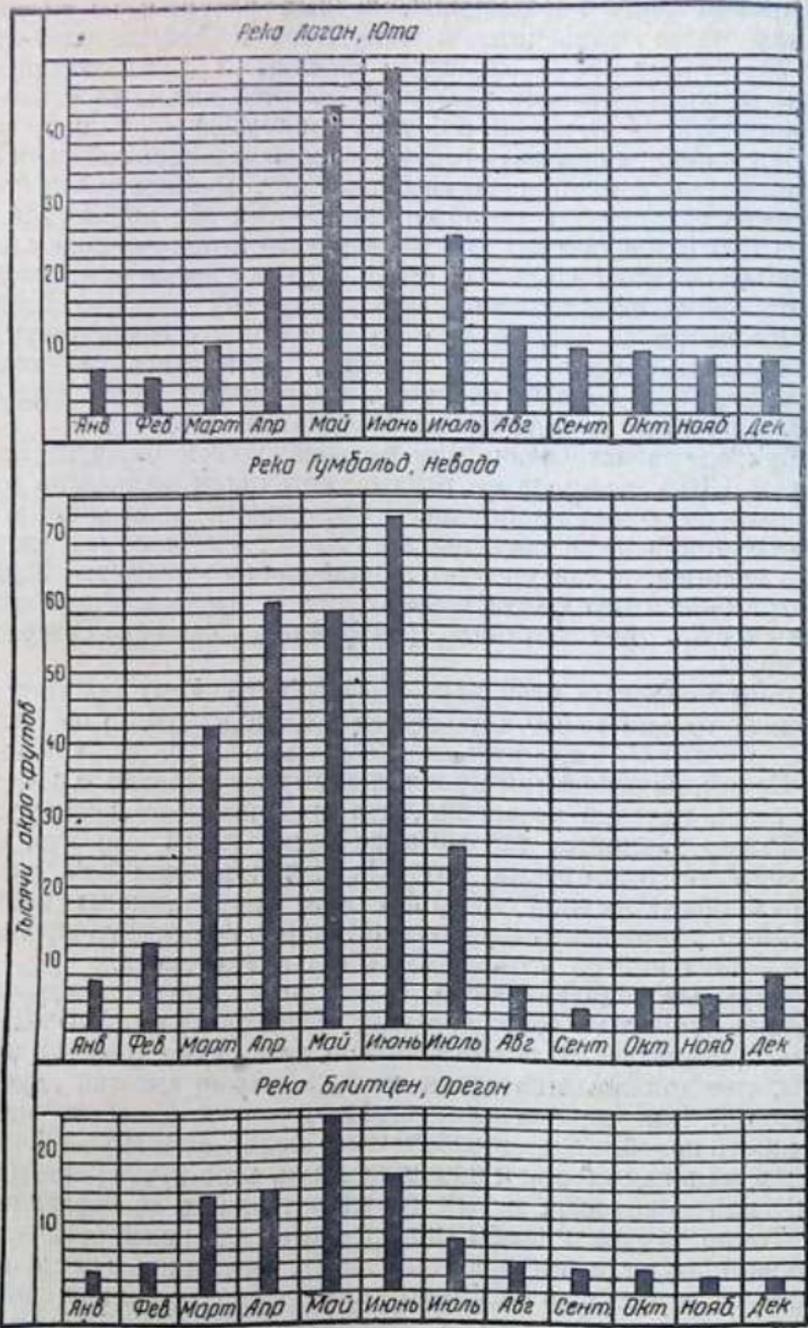


Рис. 4. Средний ежемесячный сток типичных рек Великого бассейна Северной Америки (U. S. Dep. Agric. Bull. 1340).

(30 000 млн. куб. м) получается непосредственно из водохранилищ.

В конечном итоге, когда годовое водоснабжение обеспечит 40 млн. акров (16 млн. га), по всей вероятности две трети или более указанного запаса воды будет получаться непосредственно из водохранилищ.

Обеспечение необходимой дополнительной емкости водохранилищ потребует постройки еще более высоких и более дорогих плотин, чем те, которые были сооружены до сих пор.

**16. Подземные запасы воды.** В некоторых частях Калифорнии и других западных штатов значительная часть воды содержится в отложениях крупного гравия, лежащих гораздо ниже уровня поверхности почвы долины. Выкачивание воды из подземных источников стало обычным способом ее получения для орошения. Понижение поверхности грунтовых вод, которое вызвано усиленным выкачиванием воды для орошения, в некоторых местах оказалось ценным с точки зрения улучшения условий дренажа. В других местностях уровень грунтовых вод по этой же причине настолько снизился, что явилась необходимость углубления колодцев. Понижение уровня грунтовых вод увеличивает также высоту под'ема воды и вследствие этого удорожает стоимость ее получения.

Однако ежегодное умеренное понижение грунтовых вод в местностях, условия которых благоприятны для выкачивания воды, на самом деле содействует увеличению емкости для последующего запасаания подземных вод. Систематическое затопление поверхности почвы с последующим просачиванием воды в подземные резервуары постепенно становится одним из наиболее признанных методов водозапасаания. До известной степени гравий, подстилающий возвышенные местности, может служить резервуаром грунтовых вод в том случае, если передвижение воды вниз идет не слишком быстро.

Желательность распределения воды по поверхности земли в течение периода разлива рек, в целях запасаания ее для использования в дальнейшем, является вопросом, на который не имеется общего ответа. Условия местности, определяющие емкость подземных резервуаров грунтовых вод, методы водозапасаания и многие другие вопросы должны быть учтены и рассмотрены в каждой местности в качестве основания для разрешения целесообразности водозапасаания.

**17. Способы подачи воды для орошения.** Орошаемые земли обычно бывают расположены на большом расстоянии от источников снабжения их водой. Вода, получаемая из природных источников и из водохранилищ на поверхности земли, как общее правило, должна проводиться на большие расстояния, чем вода, получаемая из подземных резервуаров. В обыкновенных каналах вода течет медленно — от  $1\frac{1}{2}$  до  $4\frac{1}{2}$  км в час. Главные магистрали и отводные каналы американских оросительных систем колеблются в своем протяжении от нескольких километров до 100 и более. Некоторые системы проводят воду на расстояние нескольких сот километров от водохранилищ в горах

путем соединения запасенной воды с водами естественных рек и последующего затем распределения ее по крупным системам каналов в долинах. Следовательно, требуется много часов, а для некоторых систем и несколько дней для проведения воды с места ее запасаения или отвода до места ее потребления.

Требуются исключительные знания, умение и любовь к делу от инженеров-строителей и производственников для надежного и экономного проведения больших количеств воды на далекие расстояния, часто через пересеченные местности и ущелья. Краткое обозрение естественных сил, обуславливающих течение воды, и сооружений по проведению воды, применяемых в современных ирригационных системах, изложено на ближайших страницах.

Законам течения воды и проблемам проведения ее посвящены целые томы по инженерной технике. В настоящей же книге вкратце рассматриваются силы, являющиеся причиной течения воды, и силы, задерживающие его, причем рассмотрение касается только равномерного течения, т. е. такого, при котором каждую секунду через каждую данную точку в канале проходит один и тот же объем воды. Кроме того, за немногими исключениями, принимается, что в быстрой течения от точки до точки вдоль канала не происходит изменений, или они незначительны, т. е. течение рассматривается как равномерное.

**18. Силы, обуславливающие течение воды.** Течение воды происходит в результате воздействия известных сил, наиболее важные из которых следующие:

- 1) притяжение земли, иначе говоря, тяготение или сила тяжести;
- 2) действие напора различной интенсивности, дающее начало некоторым подчиненным силам.

**19. Сила тяжести и течение в канале.** Течение воды в канале при условии однородного профиля местности и постоянной глубины имеет постоянную скорость. Каждая единица массы воды в канале притягивается к центру земли силой, непрерывно тянущей ее вертикально книзу. Действительная или равнодействующая сила, являющаяся причиной течения каждой единицы массы воды, является составляющей силы тяжести, параллельной поверхности воды. Эта сила изображена на рис. 5 линией  $F_g$ .

Уклон определяется как высота падения поверхности воды на данную единицу длины канала, например как 1 м на 1 000 м. На рис. 5 он изображен буквами  $h_c/l$ , как видно на маленьком треугольнике. Оба треугольника являются подобными, имея две перпендикулярные стороны. Отсюда вытекает, что:

$$\frac{F_g}{h_c} = \frac{g}{l},$$

а отсюда

$$F_g = \frac{gh_c}{l}. \quad (1)$$



Сила, действующая на каждую единицу массы, вызывающая ток по горизонтальной трубе, пропорциональна разности высоты напора  $h_0$  или  $\frac{p'}{w}$  на единицу длины трубы.

Измерения разностей высоты напора показаны на рис. 6, который изображает горизонтальную трубу  $A-B$ , соединенную с резервуаром  $R$ , в который втекает струя воды. Приток воды как раз достаточен для поддержания постоянного уровня воды на высоте  $H'$  футов от середины выходного отверстия трубы. Шесть маленьких вертикальных трубок, называемых пьезометрами (измерителями давления), пронумерованных цифрами 1, 2, 3 и т. д., соединены с большой трубой в целях измерения высоты напора в различных точках вдоль большой горизонтальной трубы. Если клапан близ выводного конца большой трубы закрыт, то вода стоит в трубке 6 на высоте  $E'$ . Точно такая же высота наблюдается и в резервуаре и во всех прочих пьезометрических трубках. Общее давление на единицу площади внутри большой трубы в точке  $B$  (при закрытом клапане) равняется атмосферному давлению на единицу площади плюс давление, вызванное столбом воды высотой в  $H'$ ; но как только клапан открывается, вода вытекает, так как общее давление внутри трубы выше, чем атмосферное давление извне. Как только течение воды по большой трубе станет равномерным, вода в каждой отдельной пьезометрической трубке будет стоять, как обозначено пунктирной линией  $E-B$ . Разность высоты напора, отмеченная пьезометрами (1) и (2), определяется уравнением:

$$h_2 = \frac{p_1 - p_2}{w}. \quad (d)$$

Для того чтобы определить движущую силу на каждую единицу массы, вызванную означенной разностью высоты напора, необходимо выразить вес воды на единицу объема ( $w$ ) в понятиях массы и плотности. Вес воды на единицу объема равняется произведению ее плотности на силу тяжести на единицу массы<sup>1</sup>:

$$w = \rho g, \quad (4)$$

где  $g$  — сила тяжести на единицу массы, как принято в § 19,  $\rho$  — плотность или масса на единицу объема. Подставляя в уравнение (3) величину  $w$  в том виде, как она дана в уравнении (4), мы получим:

$$p' = \rho g h_0 \text{ и } g h_0 = \frac{p'}{\rho}. \quad (5)$$

<sup>1</sup> В главе X показано, что 1 куб. фут воды, применяя гравитационную систему, содержит 1,94 единицы массы. Для иллюстрации равенства  $w$  произведению  $\rho g$  мы можем написать:  $w = 62,5$  фунта,  $\rho = 1,94$  джифунта,  $g = 32,2$  фута в секунду. Тогда согласно уравнению (4)  $62,5 = 1,94 \times 32,2 = 62,2$ , читатель может вычислить сходный пример, применяя другие единицы веса, массы и ускорения.

Принимая во внимание, что  $h_0$  обозначает разность высоты напора на данной длине горизонтальной трубы ( $l$ ), нетрудно усмотреть, что равнодействующая движущая сила  $F_p$  на еди-

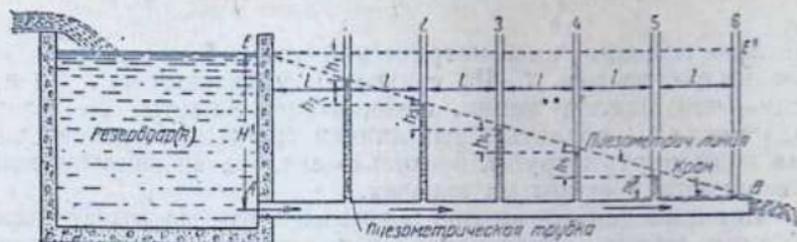


Рис. 6. Положение пьезометрической линии при течении воды по горизонтальной трубе из резервуара, в котором вода поддерживается на постоянном уровне.

ницу массы, обусловленная разностями высоты напора, выразится уравнением

$$F_p = g \frac{h_0}{l} \cdot \quad (6)$$

Из уравнений же (5) и (6) ясно, что:

$$F_p = \frac{p'/\rho}{l} \cdot \quad (7)$$

**21. Течение по наклонной трубе.** Принимая, что быстрота течения в наклонной трубе постоянна, общая движущая сила на единицу массы ( $F$ ) будет равна сумме сил  $F_g + F_p$  уравнений (1) и (7), т. е.

$$F = \frac{gh_0 + p'/\rho}{l} \cdot \quad (8)$$

Это изображено на рис. 7. В точке (1) комбинированная энергия на единицу массы, вызванная положением по отношению к плоскости  $M$  и давлением, представляется произведением  $g (h'_0 + h'_p)$ .

Равнодействующая движущая сила на единицу массы, обусловленная комбинированным действием разностей в положении

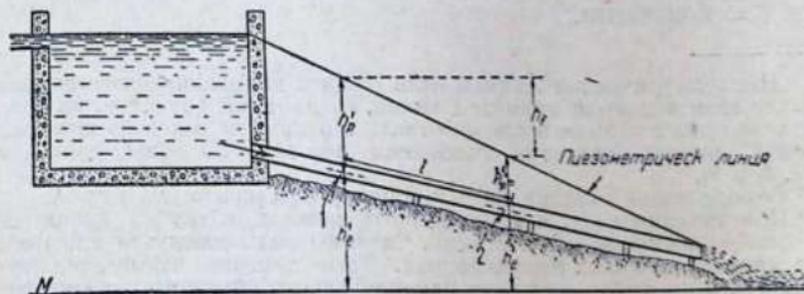


Рис. 7. Течение воды сквозь наклонную трубу.

и давлении между точками (1) и (2), разделенными расстоянием  $l$ , выражается уравнением:

$$F = g \left( \frac{(h_e' + h_p') - (h_e'' + h_p'')}{l} \right) = \frac{gh_f}{l}, \quad (9)$$

где  $h_f$  — падение пнезметрической линии<sup>1</sup> на расстоянии  $l$ , как видно на рис. 7. Из сравнения уравнений (1), (7) и (9) видно, что наклон линии, соединяющей высоты, до которых вода могла бы подняться над линией трубы вследствие давления воды внутри трубы, несколько аналогичен наклону водной поверхности в открытых каналах.

Вышеприведенный анализ показывает, что движущая сила на единицу массы, обуславливающая ток воды, может являться компонентом силы тяжести (уравнение 1) или потенциальным гидравлическим градиентом<sup>2</sup> (уравнение 7), или, наконец, комбинацией этих двух сил (уравнение 9).

**22. Задерживающие силы.** Движение каждого вещества, включая и воду, задерживается силами, вызываемыми сопротивлением при трении одного тела о другое. Например, движение поезда задерживается вследствие его трения о рельсы. Такого вида силы, задерживающие движение, называются силами трения. Сила трения тем больше, чем быстрее движется данное тело. Необходимое условие для равномерного движения воды в канале — это, чтобы сила трения на единицу массы, задерживающая движение, т. е.  $F_r$  (рис. 5), была равна по величине движущей силе  $F_g$ . Если в какой-либо точке на протяжении канала уклон увеличивается, то движущая сила ( $F_g$ ) также увеличивается, и в этом месте канала движение воды будет ускоряться. Увеличение быстроты движения увеличивает сопротивление от трения до тех пор, пока  $F_r$  вновь не станет равным  $F_g$ <sup>3</sup>.

Согласно результатам опытов по вопросу о связи между трением и быстротой течения воды в каналах и трубах обыкновенно принимается, что, когда быстрота течения превышает критическую быстроту и течение становится турбулентно, — сопротивление от трения изменяется примерно пропорционально квадрату скорости, т. е.

$$F_r = Cv^2 \quad (e)$$

где  $C$  — константа.

<sup>1</sup> Пнезметрической линией (или линией гидравлического градиента) в закрытом водоводе является линия, соединяющая отметки, на которые устанавливается вода в пнезметрах; в открытом водоводе пнезметрической линией является свободная поверхность воды (см. § 23 и рис. 8 и 9).

<sup>2</sup> Определение понятия потенциального градиента см. в гл. X.

<sup>3</sup> При течении воды в обыкновенных каналах и трубах наблюдаются вихревые движения и пульсация. Частицы воды движутся в неправильных зигзагообразных направлениях. Такое течение называется турбулентным в противоположность параллельно-струйчатому течению, характерному для медленного течения воды через песок или в очень маленьких трубах.

Так как выше было установлено, что

$$\left. \begin{aligned} F_r &= F_g \text{ (для каналов)} \\ F_r &= F_g \text{ (для горизонтальных труб)} \\ F_r &= F_g \text{ (для наклонных труб)} \end{aligned} \right\} \quad (f)$$

то следовательно:

$$\left. \begin{aligned} v^2 &= C' \times F_g \text{ (для каналов)} \\ v^2 &= C \times F_g \text{ (для труб)} \end{aligned} \right\} \quad (g)$$

и отсюда:

$$\left. \begin{aligned} v^2 &= C'g \frac{h_f}{l} \text{ (для каналов)} \\ v^2 &= C'g \frac{h_f}{l} \text{ (для труб)} \end{aligned} \right\} \quad (h)$$

Имея в виду, что  $h_f/l$  представляет уклон поверхности воды в канале,  $h_f/l$  — гидравлический уклон (рис. 7) и что  $g$  константа, — быстрота воды в данном канале или трубе равняется константе, умноженной на квадратный корень уклона, т. е.:

$$v = C'' \times \sqrt{\text{уклон}}, \quad (10)$$

где  $C'' = \sqrt{C'g}$ .

Силы трения, задерживающие течение воды в канале, зависят от относительной площади поверхности соприкосновения воды с дном и боковыми стенками канала на единицу длины, а также от степени шероховатости материала, из которого построен канал.

Относительная площадь поверхности соприкосновения воды с каналом, представленная отношением поперечного сечения площади канала к смачиваемому периметру, называется гидравлическим радиусом и обозначается буквой  $r$ . Например, если прямоугольный канал имеет по дну ширину в 5 м, а глубину в 2 м, то поперечное сечение его будет равно 10 кв. м, а смоченный периметр — 9 м, откуда гидравлический радиус составит  $1\frac{1}{9}$  м. Пользуясь вышеозначенными соображениями, исследователь может доказать, что гидравлический радиус круглой трубы, заполненной текущей водой, равняется  $\frac{1}{4}$  диаметра.

**23. Энергия и пьезометрические линии.** Из предшествующего изложения ясно, что затрата энергии — необходимое условие для тока воды. Механическая работа определяется как произведение силы на расстояние, а механическая энергия как способность производить работу. Каждая единица массы воды в текущей струе заключает в себе три вида энергии: энергию положения, энергию давления и энергию скорости. Потеря энергии на единицу массы воды на каждую единицу длины канала изображена на рис. 8 и 9 линиями, обозначенными линиями градиента энергии. Потеря энергии на единицу массы на фут или метр длины канала с однообразным поперечным сечением и глубиной воды является постоянной, как это показывает линия градиента энергии на рис. 8.

При течении в трубе уклон линии градиента энергии изменяется в точках изменения диаметра трубы, но линия градиента энергии неизменно снижается, тогда как пьезометрическая линия поднимается там, где напор скорости внезапно снижается, а высота давления возрастает, как видно на рис. 9.

Вообще движущая сила на единицу массы воды пропорциональна некоторой функции уклона линии градиента энергии,

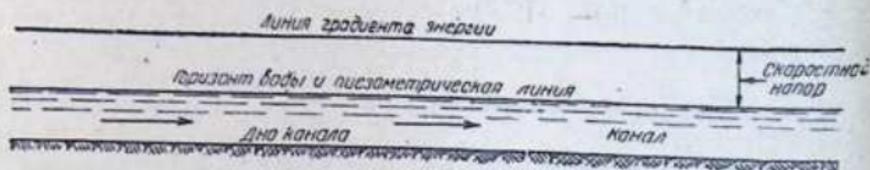


Рис. 8. Поверхность воды (пьезометрическая линия) и линия градиента энергии в открытом канале.

т. е. потере энергии на единицу массы на единицу длины трубы или канала. Вдоль любой данной трубы однообразного диаметра, по которой вода течет с постоянной скоростью, последняя приблизительно пропорциональна квадратному корню из уклона пьезометрической линии, как это видно из уравнения (10)<sup>1</sup>.

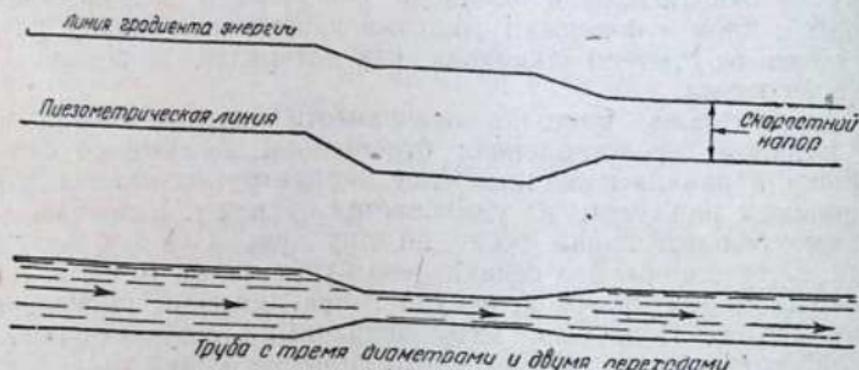


Рис. 9. Падение линии градиента энергии по направлению течения.

Очень важно отметить, что при вычислении уклона пьезометрической линии или градиента энергии длина измеряется вдоль канала или трубы, а не вдоль линии градиентов. Длина вдоль канала или трубы равна длине линии между двумя точками только при условии ровного, однородного течения в канале или

<sup>1</sup> Скобей (Scobey) нашел значительные отступления от приближенности соотношения скорости с квадратным корнем гидравлического уклона. Однако изложение его исследований относительно течения воды выходит за пределы рамок и задач настоящей главы.

трубе, в которых линии гидравлического градиента и градиента энергии параллельны линии трубы (см. рис. от 5 до 9).

К рассмотрению линий градиента энергии и пнезиометрической мы еще вернемся в гл. X в связи с изучением движения воды в почвах.

**24. Уравнения скорости.** Много ценных исследований было произведено в целях уточнения численных соотношений между скоростью течения воды, степенью шероховатости материала, гидравлическим радиусом и уклоном канала и в целях получения, таким образом, уравнения скорости общего значения.

Результатом этих исследований явился целый ряд близких между собой уравнений скорости, большинство которых очень ценны. Из этих уравнений наиболее широко используются: 1) уравнение, предложенное Чези (Chezy), с применением формулы Куттера (Kutter) для вычисления  $C$ , 2) уравнение Маннинга (Manning) и 3) уравнения, полученные Скобей (Scobey). Уравнение Маннинга<sup>1</sup> следующее:

$$v = \frac{1,486r^{2/3}s^{1/2}}{n}, \quad (11)$$

в котором:

$v$  — средняя скорость в футо-секундах,

$n$  — коэффициент шероховатости материала, который также применяется в формуле Куттера,

$r$  — гидравлический радиус в футах,

$s$  — уклон поверхности воды в канале или гидравлический уклон.

Пользуясь таблицей 1, читатель может подобрать  $n$  и затем определить  $v$ , когда  $r$  и  $s$  известны. Подбор  $n$  из таблицы 1 чрезвычайно важен, так как скорость изменяется обратно значению  $n$ . Если значения  $r$  и  $s$  известны, произведение  $nv$  может быть вычислено при помощи уравнения (11). Разделив полученную величину на  $n$ , мы получим скорость. Например, предположим, что  $r=2,3$  и  $s=0,0008$ , тогда  $nv=0,0732$ . Если данный канал проведен в земле, прямой и однородный, то, согласно таблице 1,  $n=0,020$ . Отсюда скорость:

$$v = \frac{0,0732}{0,020} = 3,66 \text{ фута в секунду.}$$

**25. Уравнение расхода воды.** Рис. 10 изображает прямоугольный канал в 2 фута (61 см) ширины, в котором вода, глубиной в 1 фут (30,5 см), течет как указано стрелками. Если средняя скорость будет 1,5 фута (45,7 см) в секунду, то подача воды будет равняться 3 куб. футам (82 290 см<sup>3</sup>) в секунду.

Из приведенных выше соображений очевидно, что

$$q = av, \quad (12)$$

<sup>1</sup> Уравнение Маннинга приводится здесь как наиболее простое, хотя другие уравнения скорости более широко применяются при проектировании оросительных каналов.

где  $q$  — количество текущей воды в куб. футах (метрах) в секунду,  
 $a$  — поперечное сечение площади канала в кв. футах (метрах),  
 $v$  — средняя скорость в футо-секундах (метро-секундах).

Очень важно, чтобы читатель хорошо усвоил уравнение (12), так как оно является основным при всяком измерении расхода воды потока.

**26. Земляные каналы.** Самым распространенным типом сооружения для проведения оросительной воды служат каналы, вырытые в естественном грунте вдоль линии, по которой должна быть проведена вода. Когда такой канал проводится без искусственной облицовки

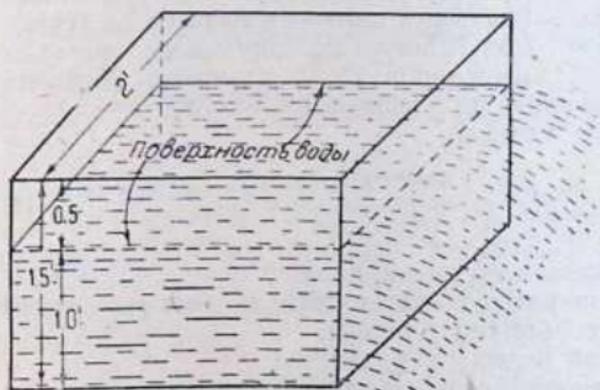


Рис. 10. Течение воды в прямоугольном жолобе.

стенки и дна, то он называется земляным каналом. Слишком быстрого течения воды в земляном канале не следует допускать во избежание размывов. Очень немногие естественные материалы выдерживают скорость течения свыше 5 футов (1,5 м) в секунду. Главное преимущество земляных каналов заключается в их сравнительно низкой первоначальной стоимости. Недостатками же являются: а) чрезмерные потери воды вследствие просачивания, б) малая скорость течения, а отсюда относительно большие площади поперечного сечения, в) опасность разрушения вследствие размывов и разрытия животными и г) благоприятные условия для произрастания мхов, водорослей и сорняков, которые задерживают быстроту течения. Бока земляных каналов обычно делают настолько крутыми, насколько может выдержать сырая земля. Наклон откосов канала колеблется от 3:1 и до 0,5:1 при особенно благоприятном грунте. Соотношение между шириной и глубиной дна в земляных каналах определяется согласно с топографическими условиями. Ширина дна может быть меньше глубины, но может в 10 раз и даже более превосходить ее. Наиболее выгодное поперечное сечение при благоприятных конструктивных условиях будет:

$$\text{ширина дна} = 2 \times \text{глубину} \times \text{tg}^2 \Theta/2, \quad (13)$$

где  $\Theta$  — угол, образуемый боковой стенкой канала с горизонталью. Это соотношение приложимо и к облицованным каналам. Для каналов с прямоугольными стенами  $\text{tg}^2 \Theta/2 = 1$ , и отсюда ширина дна вдвое больше глубины.

**27. Каналы, облицованные бетоном.** В целях: 1) уменьшения потерь воды при ее проведении, 2) обеспечения от повреждений, 3) предотвращения зарастания сорняками, 4) задержки роста мхов и водорослей, 5) уменьшения размывов при большой скорости течения, 6) снижения расходов по содержанию и 7) увеличения водопроводящей способности канала многие оросительные каналы в настоящее время облицовываются бетоном. Для определения экономической целесообразности облицовки канала бетоном весьма существенно детальное исследование связанных с этим расходов. С точки зрения оросительного проекта наиболее важным фактором при выяснении целесообразности облицовки канала является стоимость годового количества воды, сохраненной благодаря уменьшению потерь при ее проведении. В местностях, где воды очень мало, облицовка отвечает общим интересам, так как содействует более экономному использованию доступных водных запасов.

**28. Жолоба.** Для пересечения глубоких естественных низменностей или узких ущелий и для проведения оросительной воды по очень крутым склонам, жолоба обычно сооружаются из дерева, железа или бетона.

В целях экономии в затрате материалов для жолобов, желательно давать последним достаточный наклон для обеспечения большей скорости течения воды, чем в земляных каналах, что позволит пропорционально уменьшить поперечное сечение канала.

**29. Туннели.** Для сокращения длины отводных каналов в целях избежания строительства трудных и дорогих ирригационных сооружений по крутым скалистым склонам и для проведения оросительной воды через горы от одного водораздела к другому пришлось соорудить немало туннелей. В большинстве случаев представляется выгодным облицовать дно и стенки туннелей камнем в целях уменьшения пресачивания и противодействия трению. Оросительные туннели, проводимые через мягкий грунт, облицовывают бетоном по мере продолжения туннеля.

**30. Перепады и быстротоки.** Для предотвращения повреждений от размыва стенок и дна каналов очень существенно избегать чрезмерной скорости течения воды в оросительных каналах. Там, где естественные уклоны местности, по которым должна течь вода в канале, настолько велики, что вызывают слишком быстрое течение, устраивают на удобных местах деревянные или бетонные перепады, через которые вода падает с высоты нескольких футов. Назначение перепадов заключается в ослаблении энергии течения потока без причинения размывов. Быстротоки, построенные из дерева, бетона или стали, находят применение, когда необходимо спустить воду с относительно крутых склонов, для которых потребовалось бы, в целях регулирования скорости воды, большое количество близко расположенных друг за другом перепадов и где, при отсутствии надлежащего регулирования скорости, вода могла бы причинить серьезные размывы.

Быстротоки состоят из трех частей: 1) части, подводящей и ускоряющей течение, 2) части сливной, с однородной большой скоростью и 3) успокоительного бассейна. В первой части скорость течения увеличивается приблизительно с 3 футов в секунду до 20 и более, тогда как площадь поперечного сечения воды пропорционально уменьшается. Во второй части вследствие очень большой скорости тормозящие силы равны по величине и противоположны по направлению движущим силам. Таким образом скорость течения воды остается постоянной. Для рассеяния энергии в нижнем конце быстротока необходимо иметь глубокий успокоительный бассейн.

Конструкция, которая обеспечит наличие гидравлического прыжка<sup>1</sup>, является наилучшим способом рассеяния энергии.

**31. Обратные сифоны (дюкера).** Для пересечения глубоких ложин, низин и ущелий принято прокладывать по ним трубы и проводить воду в них под давлением. Устройство жолобов для пересечения обширных низин было бы слишком дорого. Трубы, применяемые для проведения оросительной воды через ущелья, известны под названием обратных сифонов. Такие трубы изготовляют из стали или из бочарной клепки с железными обручами или, наконец, из железобетона. Сифон из бочарной клепки, установленный поперек Медвежьей реки в Айдаго, выдерживает в самой низкой точке ущелья давление воды приблизительно в 300 футов.

Напряжению, обусловленному давлением воды в сифонах, противостоит сопротивление, обусловленное в стальных трубах — прочностью и толщиной стали, в деревянных трубах — прочностью, диаметром и расстоянием между обручами, стягивающими трубы, в железобетонных трубах — прочностью и количеством железа. Сифоны большого диаметра требуют соответственно более толстой стали, более широких и ближе расположенных обручей и большей дозы железа в железобетоне, чем сифоны с меньшим диаметром при том же давлении воды. Скорость течения воды через сифон данного диаметра определяется гидравлическим уклоном и шероховатостью внутри трубы; на нее не влияет общая сумма давления воды внутри трубы. Для определения скорости течения читатель может воспользоваться формулой Маннинга, приведенной в § 24, и таблицей 1. Для примера возьмем деревянный сифон лучшего качества, диаметром в 6 футов (180 см), длиной в 1 милю (1,5 км), с высотой падения уровня воды в 9 футов (270 см). В таком случае  $r=1,5$ ,  $s=0,0017$ ,  $n$  (по таблице 1)  $=0,01$ . Следовательно  $nv = 0,0803$  и отсюда  $v=8,03$  футов в секунду, а так как площадь сечения трубы диаметром в 6 футов равняется 28,3 кв. фута, — такая труба будет подавать  $8,03 \times 28,3 = 227$  куб. футов в секунду.

<sup>1</sup> См. руководство по гидравлике Кинга (King's Handbook of hydraulics) — второе изд., стр. 334.

ЗНАЧЕНИЯ  $\lambda$  ПО ГОРТОНУ ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЯ В ФОРМУЛАХ КУТТЕРА И МАННИНГА

| П о в е р х н о с т ь   | К а ч е с т в о |         |                    |        |
|---|-----------------|---------|--------------------|--------|
|   | Лучшее          | Хорошее | Удовлетворительное | Плохое |
| Неокрашенная чугунная труба . . .                                       | 0,012           | 0,013   | 0,014              | 0,015  |
| Окрашенная " " . . .  | 0,011           | 0,012   | 0,013              | —      |
| Труба кованого железа черная . . .                                      | 0,012           | 0,013   | 0,014              | 0,015  |
| " " " оцинкованная . . . . .  | 0,013           | 0,014   | 0,015              | 0,017  |
| Труба гладкая медная и стеклянная                                       | 0,009           | 0,010   | 0,011              | 0,013  |
| Труба «ОД» с зажимными брусками из сварочного железа . . . . .          | 0,010           | 0,011   | 0,013              | —      |
| Труба стальная клепаная и спиральная . . . . .                          | 0,013           | 0,015   | 0,017              | —      |
| Глазурованная канализационная труба . . . . .                           | 0,010<br>0,011  | 0,013   | 0,015              | 0,017  |
| Обыкновенная глиняная дренажная черепица . . . . .                      | 0,011           | 0,012   | 0,014              | 0,017  |
| Кладка из глазурованного кирпича  | 0,011           | 0,012   | 0,013              | 0,015  |
| Кирпич на цементном растворе; кирпичные канализационные трубы . . . . . | 0,012           | 0,013   | 0,015              | 0,017  |
| Поверхности чистого цемента . . . . .                                   | 0,010           | 0,011   | 0,012              | 0,013  |
| " " цементно-известкового раствора . . . . .                            | 0,011           | 0,012   | 0,013              | 0,015  |
| Бетонные трубы . . . . .  | 0,012           | 0,013   | 0,015              | 0,016  |
| Трубы деревянной клепки . . . . .                                       | 0,010           | 0,011   | 0,012              | 0,013  |
| Досчатые жолоба:  |                 |         |                    |        |
| Строганные . . . . .  | 0,010           | 0,012   | 0,013              | 0,014  |
| Нестроганные . . . . .  | 0,011           | 0,013   | 0,014              | 0,015  |
| Скрепленные поперечными планками . . . . .                              | 0,012           | 0,015   | 0,016              | —      |
| Облицованные бетоном каналы . . . . .                                   | 0,012           | 0,014   | 0,016              | 0,018  |
| Цементно-щебневая поверхность . . . . .                                 | 0,017           | 0,020   | 0,025              | 0,030  |
| Поверхность нецементированного щебня . . . . .                          | 0,025           | 0,030   | 0,033              | 0,035  |
| Поверхность тесаного камня . . . . .                                    | 0,013           | 0,014   | 0,015              | 0,017  |
| Полукруглые металлические жолоба гладкие . . . . .                      | 0,011           | 0,012   | 0,013              | 0,015  |
| Полукруглые металлические жолоба гофрированные . . . . .                | 0,0225          | 0,025   | 0,0275             | 0,030  |
| Каналы и канавы:  |                 |         |                    |        |
| Земляные прямые и однородные . . . . .                                  | 0,017           | 0,020   | 0,0225             | 0,025  |
| Вырубленные в скале, гладкие и однородные . . . . .                     | 0,025           | 0,030   | 0,033              | 0,035  |
| Вырубленные с неровными стенками неоднородные . . . . .                 | 0,035           | 0,040   | 0,045              | —      |
| Слабо извивающиеся каналы . . . . .                                     | 0,0225          | 0,025   | 0,0275             | 0,030  |
| Очищенные земляные каналы . . . . .                                     | 0,025           | 0,0275  | 0,030              | 0,033  |
| Каналы с грубым каменным дном и травой по земляным откосам . . . . .    | 0,025           | 0,030   | 0,035              | 0,040  |
| Каналы с земляным дном и стенками бутовой кладки . . . . .              | 0,028           | 0,030   | 0,033              | 0,035  |

| Поверхность   | К а ч е с т в о |         |                    |        |
|---|-----------------|---------|--------------------|--------|
|   | Лучшее          | Хорошее | Удовлетворительное | Плохое |
| Естественные речные русла:  |                 |         |                    |        |
| 1) чистые, с прямыми берегами без порогов и глубоких омутов . . . . .                     | 0,025           | 0,0275  | 0,030              | 0,033  |
| 2) такие же как (1), но с растительностью и камнями . . . . .                             | 0,030           | 0,033   | 0,035              | 0,040  |
| 3) извивающиеся, с некоторым количеством омутов и отмелей, чистые                         | 0,033           | 0,035   | 0,040              | 0,045  |
| 4) такие же, как (3), худшего качества, с более невыгодным уклоном и профилем . . . . .   | 0,040           | 0,045   | 0,050              | 0,055  |
| 5) такие же, как (3), но с растительностью и камнями . . . . .                            | 0,035           | 0,040   | 0,045              | 0,050  |
| 6) такие же, как (4), но с каменистыми участками . . . . .                                | 0,045           | 0,050   | 0,055              | 0,060  |
| 7) медленные речные плесы, довольно сильно заросшие и с очень глубокими омутами . . . . . | 0,050           | 0,060   | 0,070              | 0,080  |
| 8) сильно заросшие плесы . . . . .  | 0,075           | 0,100   | 0,125              | 0,150  |

## ГЛАВА III

### ИЗМЕРЕНИЕ ОРОСИТЕЛЬНОЙ ВОДЫ

Экономное использование воды в значительной степени связано с ее измерением. Многие ирригаторы сознают в настоящее время, что без измерения воды невозможно использовать в практике орошения тот огромный запас сведений, касающихся взаимоотношений воды, почвы и растений, который накопился за последнее время. Первым шагом в изучении измерения воды должно быть ознакомление с применяемыми единицами измерения.

**32. Единицы измерения воды.** Рассматриваемые здесь единицы измерения воды могут быть разбиты на две группы: во-первых, единицы, применяемые для обозначения определенного объема воды в состоянии покоя и, во-вторых, единицы для выражения скорости течения.

В Америке обычно применяют для выражения объема воды в покое галлон, куб. фут, акро-дюйм и акро-фут<sup>1</sup>. Акро-дюйм — это количество воды, достаточное для покрытия 1 акра на глубину 1". что составит 3 630 куб. футов. Акро-фут соответствует количеству воды, необходимому для покрытия 1 акра на глубину 1 фута, и равняется 43 560 куб. футам. Скорость течения в Америке обычно обозначают галлонами в минуту, куб. футами в секунду, акро-дюймами в час и акро-футами за сутки. Применяется также так называемый рудный дюйм, означающий количество воды, которое протекает через отверстие в 1 кв. дюйм в вертикальной стенке под давлением от 4 до 7". В западных штатах выражают рудный дюйм в куб. футах в секунду. В некоторых частях Калифорнии, Айдаго, Канзаса, Новой Мексики, Северной Дакоты, Южной Дакоты, Небраски и Юты под рудным дюймом подразумевают  $\frac{1}{50}$  куб. фута в секунду. В Аризоне, Неваде, Монтане, Орегоне и центральной Калифорнии 1 рудный дюйм приравнивается к  $\frac{1}{40}$  куб. фута в секунду; наконец, в Колорадо 38,4 рудных дюйма принимаются равными 1 куб. футу в секунду.

<sup>1</sup> В СССР, где во всех отраслях принята метрическая система, в практике орошения для выражения объема воды приняты литр и кубометр, для выражения слоя воды на поверхности — мм; 100 мм на га соответствуют 1 000 куб. м. Для выражения скорости течения тока воды применяют литры или кубометры в секунду, час или за сутки. В конце книги дается перевод американских мер в метрические. Примеч. переводчика.

**33. Скорость течения через отверстие.** Всем очень хорошо известно, что когда давление воды в трубах обыкновенного домашнего водопровода бывает высоким, то вода вытекает из открытого крана с большой скоростью, тогда как при слабом давлении она вытекает медленно. В том же случае, если бы давление внутри трубы было совершенно равным давлению воздуха вне ее, вода не вытекала бы вовсе. Таким образом, при открытом кране вода течет из трубы под влиянием разности давлений. Вспомнив из изложенного в § 20, что давление в каждой точке данного объема воды пропорционально глубине этой точки от

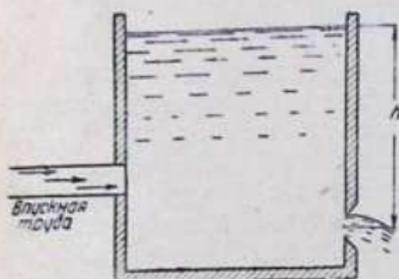


Рис. 11. Расход воды через отверстие под напором  $h$ .

поверхности воды, легко понять, что вода течет через отверстие в сосуде (или в плотине, построенной поперек реки) тем быстрее, чем ниже отверстие находится от поверхности воды. Для практики орошения весьма важно точно знать, какова будет скорость течения через отверстие на любом расстоянии его от поверхности воды по вертикали вниз. Основным физическим законом, определяющим скорость течения воды через отверстие, тот же, что и закон, определяющий

скорость свободного падения тела по вертикали на любое расстояние от начальной точки падения.

Читатель, прошедший курс элементарной физики, знает, что скорость падения тела, если не принимать во внимание трения воздуха, может быть определена в каждой точке, если известно расстояние последней по вертикали от точки начала падения. Точно так же может быть определена скорость течения воды, вытекающей из отверстия в сосуде, в футах-секундах, не принимая во внимание трения, если известна высота воды в сосуде над отверстием. Этот весьма важный закон падения тел в применении к течению воды выражается следующим уравнением:

$$v = \sqrt{2g} \sqrt{h}, \quad (14)$$

где  $v$  — скорость в футах-секундах,

$g$  — ускорение в зависимости от тяжести (или силы тяжести на единицу массы воды), равное 32,2 фута в секунду, или 9,814 м в секунду.

$h$  — глубина воды в футах или максимум высоты напора, вызывающего расход воды через отверстие.

В том случае, когда отверстие очень велико, течение через него будет заметно быстрее близ его дна, чем близ верха. Для постоянных рассуждений предположим, что величина отверстия настолько незначительна по сравнению с высотой напора, вызывающей расход воды, что разницей между скоростью течения около верхнего и около нижнего края отверстия можно пренебречь. Для иллюстрации применения уравнения (14) предпо-

ложим, что  $h$  (по рис. 11) = 4 фута. В таком случае  $v = \sqrt{2 \times 32,2 \times 4} = 16,04$  фута в секунду, т. е. теоретически вода будет течь через отверстие, расположенное на 4 фута ниже поверхности воды, со скоростью около 16 футов в секунду. На самом деле, вследствие сопротивления от трения, действительная скорость течения будет несколько ниже теоретически вычисленной скорости.

**34. Расход воды через отверстие.** Принимая во внимание уравнение (12), согласно которому  $q = av$ , понятно, что теоретический расход через отверстие может быть определен путем замены величины  $v$  в уравнении (14). В таком случае получим:

$$q = a \sqrt{2g} \sqrt{h}. \quad (15)$$

Если отверстие (рис. 11) имеет 4" высоты на 18" ширины (перпендикулярно к плоскости бумаги), то площадь его будет:

$$a = \frac{4 \times 18}{144} \text{ кв. футов.}$$

Опыт показал, что действительный расход воды для стандартных отверстий равняется приблизительно 6/10 теоретического, так что действительный  $q$  будет исчисляться следующим образом:

$$q = \frac{6}{10} \times \frac{16}{1} \times \frac{1}{2} = 4,8 \text{ куб.}$$

фута в секунду.

Наконец, действительный расход воды через отверстие выражается уравнением:

$$q = Ca \sqrt{2g} \sqrt{h}, \quad (16)$$

в котором  $C$  является коэффициентом расхода, определяемым опытом. Амплитуда  $C$  от 0,6 до 0,8 или более зависит от расположения отверстия по отношению краев и дна сосуда или водного канала, а также от степени закругленности углов отверстия.

Предположим, что величина отверстия увеличена и что поверхность воды опущена ниже верхнего края отверстия, как это видно на рис. 12. Тогда высота напора воды в футах, обуславливающая среднюю скорость и обозначенная на рис. 12 буквой  $h$ , равняется 1/2 общей глубины воды над нижним краем отверстия. Площадь поперечного сечения потока под прямым углом к направлению течения в действительности меньше площади поперечного сечения отверстия. Если длина отверстия равняется 18", или 1,5 фута, то площадь поперечного сечения потока выразится:

$$a = 2h \times 1,5 \text{ кв. футов,}$$

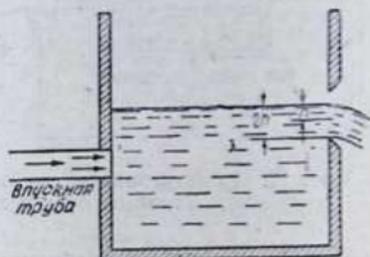


Рис. 12. Расход воды через частично заполненное отверстие, подобный расходу через водослив.

или, обозначая длину отверстия  $L$ , выраженной в футах,

$$a = 2hL \text{ кв. футов.}$$

Подставляя настоящую величину  $a$  в уравнение (16), получим:

$$q = 2C \sqrt{2g} Lh \times \sqrt{h} = 2C \sqrt{2g} Lh^{3/2}.$$

Так как ускорение, связанное с силой тяжести  $g$ , почти константно, то удобнее обозначать произведение  $2C \sqrt{2g}$  через простой знак  $C'$ , и тогда следует, что

$$q = C' L h^{3/2}. \quad (17)$$

Уравнение (17) дает нам теоретическую величину расхода воды через отверстие, когда верхний край последнего находится выше поверхности воды.

**35. Расход воды через водосливы.** При измерении воды под термином «водослив» понимается выемка в стене, построенной

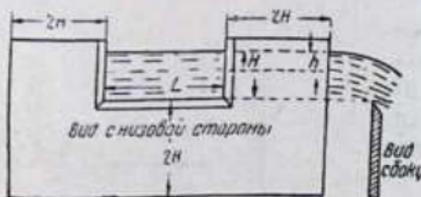


Рис. 13. Прямоугольный водослив с полным боковым сжатием.

поперек потока. Выемка может иметь форму прямоугольника, трапеции или треугольника. Очевидно, что отверстие, обозначенное на рис. 12, является водосливом в вышеуказанном смысле этого слова в том случае, когда струя не заполняет его целиком. При измерении струи воды, текущей через водосливы, удобно и обычно принято

измерять полную глубину струи, т. е.  $2h$  (рис. 12).

Хотя полная глубина, обозначенная на рис. 18 буквой  $H$ , не представляет точки средней скорости потока, она все же может быть использована в уравнении (17) путем изменения лишь коэффициента  $C'$ . Подставляя в уравнение (17) вместо  $h$  его эквивалент  $H/2$ , получаем:

$$q = C' L \left(\frac{H}{2}\right)^{3/2} = \frac{C'}{2^{3/2}} L H^{3/2}.$$

или

$$q = C'' L H^{3/2}, \quad (18)$$

в котором

$$C'' = C'/2^{3/2}.$$

Уравнение (18) является обычной формулой для расхода воды через прямоугольный или трапециoidalный водослив. Хотя, как выше указано, это основано на исходном уравнении  $q = av$ , необходимо отметить, что при применении уравнения (18) единственно существенными измерениями являются длина порога водослива и глубина воды, текущей поверх его ( $H$ ).

Непосредственно измерять скорость не требуется. Коэффициент  $C''$ , обычно обозначаемый  $C$ , был определен на опыте многими

исследователями. Для прямоугольных водосливов коэффициент был установлен Френсисом (Francis) равным 3,33. Отсюда широко применяемое уравнение для расхода воды через водослив:

$$q = 3,33 LH^{3/2}. \quad (19)$$

Уравнение (19) без изменений применимо в точности только к прямоугольным водосливам, у которых длина порога равна ширине прямоугольного канала непосредственно над водосливом, т. е. при отсутствии бокового сжатия. Для водосливов с полным боковым сжатием, как это изображено на рис. 13, эффективная длина порога водослива  $L$  определяется формулой:

$$L = L' - 0,2 H, \quad (20)$$

в которой  $L'$  — измеренная длина порога. При фактическом пользовании уравнением (19) и другими уравнениями стока воды,



Рис. 14. Водослив Чиполлетти в форме трапеции.

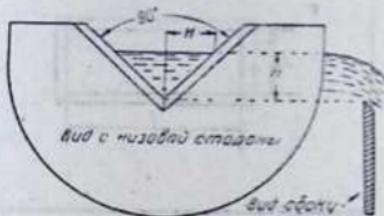


Рис. 15. Треугольный водослив с выемкой в  $90^\circ$ .

принято на основании их составлять таблицы, приняв  $L = 1$ , для различных значений  $H$ .

Итальянский инженер Чиполлетти уже давно сконструировал водослив в форме трапеции с полным боковым сжатием, в котором расход воды прямо пропорционален длине порога водослива. Для целей орошения этот водослив очень удобен и широко применяется. Следующее уравнение определяет расход воды через этот водослив:

$$q = 3,3^{2/3} L H^{3/2}. \quad (21)$$

В этом водосливе боковые грани имеют уклон 1:4, как это видно на рис. 14.

Не считаясь с небольшой поправкой, необходимой ввиду того, что стороны водослива имеют наклон, направленный наружу, можно прийти к уравнению (21) тем же путем, как и к уравнению (19).

Ясно, что для треугольного водослива с выемкой в  $90^\circ$ , как это видно на рис. 15, площадь поперечного сечения несомненно представляет собой  $H \times H$ , или  $H^2$ , и, таким образом, для теоретического расхода мы получаем на основании уравнения (15)

$$q = H^2 \sqrt{2g} \sqrt{h} = CH^{5/2}.$$

Фактический расход, как указал опыт, приблизительно равняется:

$$q = 2,49 H^{5/2}. \quad (22)$$

**36. Затопленные отверстия.** Из схематического изображения на рис. 16 затопленного отверстия, т. е. находящегося ниже поверхности воды, ясно видно, что поперечное сечение текущей через него воды равняется произведению длины отверстия на его высоту или  $A = l \times H$ . Высота, с которой падает вода, проходя через находящееся ниже ее уровня отверстие, равняется разности в уровнях воды между верхним и нижним бьефами,

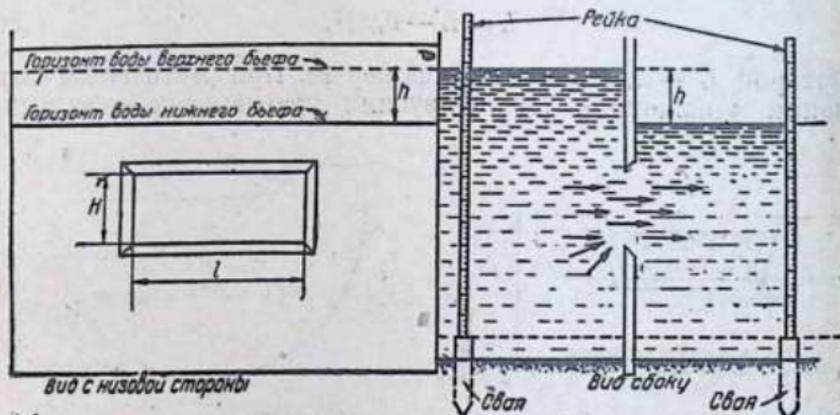


Рис. 16. Водослив с затопленным отверстием.

как это показывает рис. 16. Отсюда из уравнения (16), а также и на основании опыта, расход воды для стандартного, находящегося ниже уровня воды отверстия определится уравнением:

$$q = \frac{61}{100} lH \sqrt{2g} \sqrt{h}. \quad (23)$$

Затопленные отверстия применяются в настоящее время как стандартного типа, так и в комбинации с головным щитом.

**37. Свойства водосливов и отверстий.** Необходимо отметить то влияние, которое оказывает изменение глубины воды ( $H$ ) на расход ее ( $q$ ) для различных водосливов и отверстий. Например, если поток, идущий через прямоугольный водослив, увеличивается так, что глубина ( $H$ ) удваивается, то удваивается и площадь поперечного сечения ( $A$ ) и расход увеличивается в 2,8 раза, тогда как удвоенная глубина ( $H$ ) над трапециoidalным водосливом немного более чем удваивает площадь поперечного сечения и пропорционально увеличивает расход.

Если удваивается  $H$  в треугольном водосливе, то площадь поперечного сечения ( $A$ ) увеличивается в 4 раза, а расход воды почти в 5,66 раза. Если высота напора, т. е. разность бьефов ( $h$ ), вызывающая сток воды через затопленное отверстие, удваивается, — площадь остается без изменений и сток воды ( $q$ ) уве-

личивается только в 1,4 раза против своей первоначальной величины. Подобные сопоставления легко могут быть сделаны для любого изменения глубины, имея ввиду, что расход воды изменяется пропорционально степени  $3/2$  глубины ( $H$ ) для прямоугольных и трапецидальных водосливов,  $5/2$  глубины для треугольных и  $1/2$  разности бьефов ( $h$ ) для затопленных отверстий. Изменения в расходе воды с изменением глубины ( $H$ ) имеют

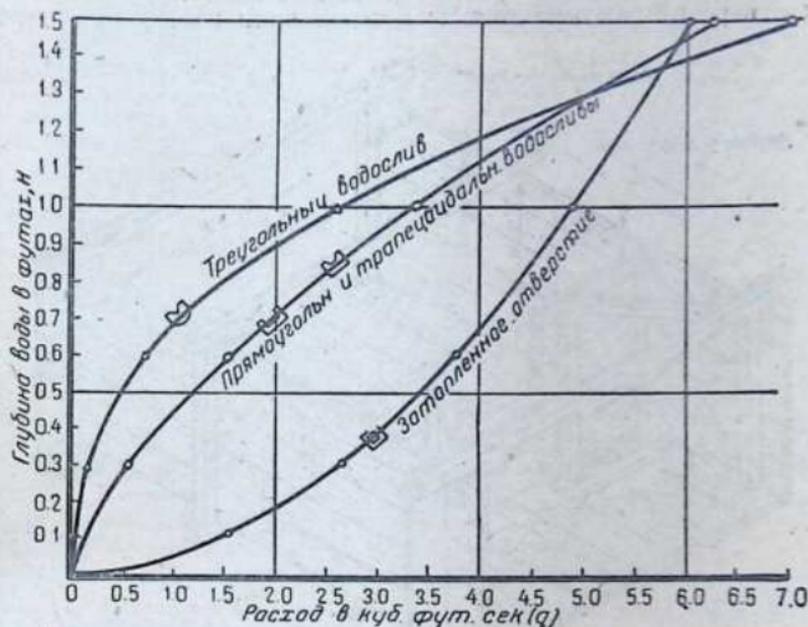


Рис. 17. Кривые, показывающие соотношение между расходом воды в куб. фут./сек и глубиной воды над порогом водослива в футах для прямоугольного водослива в 1 фут без бокового сжатия, для трапецидального водослива в 1 фут, для треугольного водослива с выемкой в  $90^\circ$  и для затопленного отверстия в 1 кв. фут площади поперечного сечения.

весьма существенное значение в практике орошения и должны быть вполне ясно осознаны лицами, на обязанности которых лежит распределение воды.

Для лучшей иллюстрации влияния изменений глубины на расход воды могут служить кривые на рис. 17. Вышеуказанные соотношения ясно видны при рассмотрении этих кривых.

**38. Достоинства и недостатки водосливов.** Достоинства открытых водосливов для измерения расхода воды заключаются: 1) в точности, 2) в простоте и легкости конструкции, 3) в незасорении подводными растениями или плавающими предметами и 4) в длительном сроке службы. К числу недостатков водосливов следует отнести: 1) требование значительного падения уровня воды или высокого напора, которое делает их неприменимыми

в очень ровных местностях, и 2) скопление гравия, песка и ила перед водосливом, что препятствует точности измерения расхода воды.

Водосливы с затопленным отверстием предпочтительны в местностях с малым уклоном, где трудно иметь достаточный напор для применения открытых водосливов. Кроме того, подобные отверстия обладают также и достоинствами, перечисленными выше для водосливов. Наиболее серьезные недостатки затопленных отверстий заключаются: 1) в накоплении плавающих остат-

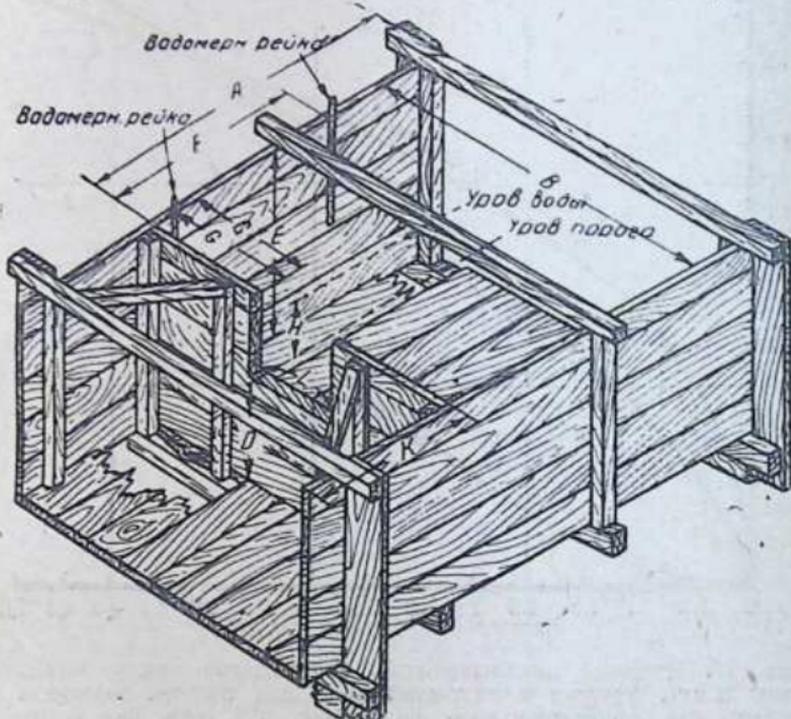


Рис. 18. Водосливный ящик (из U. S. Dept. Agr. Farmers' Bul. 813).

ков и 2) в накоплении выше отверстия песка и ила, препятствующих точности измерения расхода воды.

**39. Водосливный ящик и успокоительный бассейн.** При применении любого из вышеописанных водосливов в канале, не доходя до него, устраивается успокоительный бассейн, т. е. канал несколько расширяется и углубляется по сравнению со средним сечением канала. Это делается для того, чтобы, проходя по относительно более широкому каналу, вода замедлила бы свою скорость при приближении к водосливу (обычно до 0,5 фута в секунду). Увеличенный разрез канала должен постепенно суживаться до естественных размеров. Следует избегать перекрестных течений непосредственно над водосливом. Это может быть достигнуто путем устройства водобойных перегородок поперек водосливного канала.

Водослив может быть помещен в водосливный ящик, построенный из дерева или бетона, как показано на рис. 18, или он может быть просто помещен в расширенной части канала, как видно на рис. 19.

Для применения водосливного ящика требуется меньше пространства, зато чистка его значительно более трудная. Для временного пользования помещение водослива в открытом канале, как показано на рис. 19, более выгодно. Чистка в открытом канале также много дешевле, так как может быть применен скребок (скрепер). Для предохранения от размывающего действия падающей воды канал ниже водослива должен быть укреплен камнями или другими материалами.

Таблица 2, заимствованная из Farmers' Bull. 813, дает размеры водосливов, наилучшим образом приспособленные для измерения струи воды в пределах от 1/2 до 22 куб. футов в секунду, а также надлежащие размеры для прямоугольных, трапециoidalных и треугольных (90°) водосливов разных величин.

Размеры водослива (рис. 18), приведенные в таблице 2, несколько меньше, чем должны были бы быть для полной точности измерений. Однако коробки указанных размеров все же дают результаты с точностью до 1%.

Для временных деревянных водосливов лес, из которого они построены, может быть также с успехом применен и для устройства порога и боковых граней. Однако, так как дерево легко коробится и острые первоначально края стираются и размочаливаются, применение дерева для порогов и граней в постоянных водосливах без обшивки каким-нибудь металлом нежелательно.

Клайд (Clyde) дает следующие общие правила для установки и эксплуатации водосливов:

1. Водослив должен быть помещен в нижнем конце длинного успокоителя, достаточно широкого и глубокого для того, чтобы создать ровное, плавное течение со скоростью около водослива не свыше 0,5 фута в секунду, т. е. фактически спокойную воду.
2. Средняя линия ящика водослива должна быть параллельна направлению течения.
3. Лицевая сторона водослива должна быть вертикальной, т. е. не иметь наклона ни в сторону верхнего, ни в сторону нижнего бьефа.

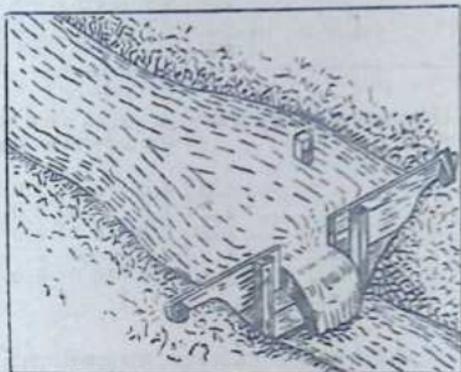


Рис. 19. Водослив, установленный за успокоительным бассейном (из U. S. Dept. Agr. Farmers' Bull. 813).

ТАБЛИЦА 2

РАЗМЕРЫ ЯЩИКОВ ВОДОСЛИВОВ: ПРЯМОУГОЛЬНЫХ, ЧИПОЛЛЕТТИ И ТРЕУГОЛЬНЫХ С ВЫЕМКОЙ В 90°

(Размеры даны в футах. Буквенные обозначения относятся к рис. 18)

| Расход (фут/сек) | Максимальный напор <i>H</i> | Длина водослива, порога <i>L</i> | Длина ящика над водосливом, выемкой <i>A</i> | Длина ящика ниже водослива, выемки <i>K</i> | Общая ширина ящика <i>B</i> | Общая глубина ящика <i>E</i> | От конца порога до бока <i>C</i> | От порога до дна <i>D</i> | Расстояние до впадины вверх по течению <i>F</i> | Расстояние до впадины поперек течения <i>G</i> |
|------------------|-----------------------------|----------------------------------|--|---|-----------------------------|------------------------------|----------------------------------|---------------------------|---|--|
|------------------|-----------------------------|----------------------------------|--|---|-----------------------------|------------------------------|----------------------------------|---------------------------|---|--|

## Прямоугольные и трапециoidalные водосливы с боковым сжатием

|                     |     |     |      |     |      |     |      |      |     |     |
|---------------------|-----|-----|------|-----|------|-----|------|------|-----|-----|
| 0,5 до 3 . . . . .  | 1,0 | 1,0 | 6,0  | 2,0 | 5,5  | 3,5 | 2,25 | 2,00 | 4,0 | 2,0 |
| 2,0 » 5 . . . . .   | 1,1 | 1,5 | 7,0  | 3,0 | 7,0  | 4,0 | 2,75 | 2,50 | 4,5 | 2,0 |
| 4,0 » 8 . . . . .   | 1,2 | 2,0 | 8,0  | 4,0 | 8,5  | 4,5 | 3,25 | 2,75 | 5,0 | 2,5 |
| 6,0 » 14 . . . . .  | 1,3 | 3,0 | 9,0  | 5,0 | 12,0 | 5,0 | 4,50 | 3,25 | 5,5 | 3,0 |
| 10,0 » 22 . . . . . | 1,5 | 4,0 | 10,0 | 6,0 | 14,0 | 5,5 | 5,00 | 3,50 | 6,0 | 3,0 |

## Треугольные водосливы с выемкой в 90°

|                       |      |   |     |     |     |      |      |     |   |     |
|-----------------------|------|---|-----|-----|-----|------|------|-----|---|-----|
| 0,5 до 2,50 . . . . . | 1,00 | — | 6,0 | 2,0 | 5,0 | 3,0  | 2,50 | 1,5 | 4 | 2,0 |
| 2,0 » 4,75 . . . . .  | 1,25 | — | 6,5 | 8,5 | 6,5 | 3,25 | 3,25 | 1,5 | 5 | 2,5 |

4. Порог водослива должен быть: 1) горизонтален, так чтобы проходящая через него вода имела бы одинаковую глубину в каждой точке вдоль порога, и 2) так заострен, чтобы спадающая через него вода прикасалась к нему только в одной точке.

5. Расстояние порога от дна успокоителя должно быть приблизительно в 3 раза больше глубины воды, протекающей поверх порога водослива. Края успокоителя должны находиться от краев порога на расстоянии не меньшем, чем двойная глубина воды, проходящей над порогом.

6. Водомерная рейка или водосливная шкала может быть помещена на верхнем бьефе и достаточно далеко к одной стороне, так, чтобы она находилась в сравнительно спокойной воде, как это видно на рис. 18, или же она может быть помещена в любой точке водосливного водоема или ящика, но на достаточном расстоянии от водослива, чтобы находиться вне кривой спада воды, когда она проходит через порог водослива. Нуль на шкале или рейке должен быть поставлен на один уровень с порогом водослива. Это может быть сделано при помощи обыкновенного плотничного ватерпаса или, если желательна большая точность, — при помощи нивеллира.

7. Порог должен быть помещен достаточно высоко, так, чтобы вода свободно спадала за водосливом, оставляя воздушный про-

межуток под спадающей струей воды. Если вода нижнего бьефа поднимается выше порога, то такое свободное падение ее становится невозможным, водослив в таком случае затопляется. Если не сделать сложных поправок в вычислениях, то учет воды на таком затопленном водосливе становится ненадежным.

8. Для точного учета глубина над порогом не должна превышать одной трети длины порога.

9. Высота воды над порогом не должна быть меньше 2 дюймов (5 см), так как при меньшей глубине трудно достигнуть достаточно точных показаний шкалы для получения точных результатов.

10. Для предохранения от размывов, причиняемых падением воды, канал ниже водослива должен быть облицован булыжником или другим подобным материалом.

Существуют значительные разногласия в мнениях между авторитетными лицами по орошению в отношении точности различных формул водосливов и пригодности различных водоизмерительных приборов. Читателю, желающему ближе ознакомиться с водосливами, особенно в отношении точного учета воды, рекомендуем обратиться к литературным источникам, относящимся к настоящей главе.

**40. Измерение напора или глубины воды на пороге водослива.** Измерение напора или глубины воды на пороге водослива производится специально сконструированной шкалой или рейкой. Специальная шкала, именуемая водомерной рейкой, должна быть помещена в верхнем бьефе, выше перемычки, на расстоянии не ближе четырехкратной глубины воды ( $H$ ), протекающей через порог водослива. Необходимость этого обуславливается тем, что поверхность воды близ порога образует кривую спада. Шкала из твердого дерева с делениями на единицы, десятые и сотые части фута вполне достаточна. Нулевая точка шкалы должна быть помещена на одном уровне с порогом прямоугольного или трапециoidalного водослива или с вершиной угла треугольного водослива. Если имеют дело с достаточно широким открытым водоемом перед водосливом, то шкала или подпорка, к которой должна быть прикреплена измерительная линейка, может быть прикреплена к переборке на расстоянии от конца выемки, не менее чем вдвое превышающем наибольшую глубину воды ( $H$ ) над порогом водослива. Для установки нулевой точки шкалы или рейки на уровне с порогом можно пользоваться обыкновенным ватерпасом. Напускать для этого воду в успокоительный бассейн до тех пор, пока она не потечет через порог водослива, не следует, так как вода подымается значительно выше уровня порога прежде, чем начнет переливаться через него.

Небольшие ошибки в определении  $H$  вызывают сравнительно крупные ошибки в учете величины расхода. Для того чтобы показать ошибки в измерении расхода, вызванные неточностью учета всего лишь в 0,01 фута или менее  $1/8''$ , при определении  $H$ , приводим таблицу 3 по Кону (Cone).

ТАБЛИЦА 3

ПРОЦЕНТНЫЕ ОШИБКИ В ОПРЕДЕЛЕНИИ РАСХОДА ВОДЫ ЧЕРЕЗ ВОДОСЛИВ,  
ОБУСЛОВЛЕННЫЕ ОШИБКОЙ В 0,01 ФУТА ПРИ УЧЕТЕ ВЫСОТЫ НАПОРА

| Высота напора |       | Длина порога водослива |          |        |        |        | Треугольн.<br>выемка 90° |
|---------------|-------|------------------------|----------|--------|--------|--------|--------------------------|
| футы          | дюймы | 1 фут                  | 1,5 фута | 2 фута | 3 фута | 4 фута |                          |
| 0,20          | 2,38  | 7,2                    | 7,5      | 7,5    | 7,6    | 7,6    | —                        |
| 0,30          | 3,63  | 5,0                    | 5,1      | 5,1    | 5,6    | 4,8    | 8,5                      |
| 0,50          | 6,00  | 3,5                    | 3,2      | 3,0    | 2,9    | 2,9    | 5,0                      |
| 0,70          | 8,38  | 2,1                    | 1,9      | 2,1    | 2,2    | 2,2    | 3,9                      |
| 0,90          | 10,81 | 1,8                    | 1,8      | 1,8    | 1,7    | 1,7    | 2,9                      |
| 1,10          | 13,81 | —                      | 1,4      | 1,3    | 1,3    | 1,3    | 2,2                      |
| 1,25          | 15,00 | —                      | —        | —      | 1,1    | 1,1    | 2,1                      |
| 1,50          | 18,00 | —                      | —        | —      | 0,9    | 1,0    | —                        |

**41. Переносные водосливы.** Часто бывает желательно произвести измерение небольших потоков в местах, где стоимость устройства постоянных водосливов не оправдала бы себя. Например, измерение поверхностного стока на некоторых полях хотя и желательно, но с трудом оправдало бы устройство постоянного водослива. В таких случаях для указанной цели может прекрасно служить небольшой стальной щит, вырезанный в форме полукруга и имеющий водосливный вырез, как это изображено на рис. 20. Вырез может быть прямоугольным, трапециoidalным или треугольным, в зависимости от желательного типа водослива.

Переносные водосливы легко устанавливаются на каналах с супесчаными, суглинистыми или глинистыми дном и откосами. Обыкновенно в почвах этого типа возможно свободно забить водосливную раму в землю при помощи молотка или топора. Необходимо пользоваться при этом ватерпасом во избежание того, чтобы один конец порога водослива не получился выше другого. Глубина стока воды через порог водослива или высота напора измеряется путем помещения конца рейки на специально сделанной для этой цели подпорке, как показано на рис. 20.

**42. Водосливы без бокового сжатия.** Стандартный прямоугольный водослив без бокового сжатия состоит из стенки с острым порогом, поставленной поперек прямоугольного канала, притом достаточно высокой, чтобы вызвать полный изгиб водных струй при прохождении потока через водослив. Условия для точности здесь те же, что и для стандартного прямоугольного водослива с боковым сжатием, за исключением тех, которые имеют отношение к этому сжатию. Такой тип водослива может быть использован только в каналах с однородным прямоугольным поперечным сечением. В водомере должны быть сделаны отдушины как раз под порогом водослива, так, чтобы дать полный доступ воздуха под струей спадающей воды.

Прямоугольный водослив без бокового сжатия, усовершенствованный Лайманом (Luman), изображен на рис. 21.

42-а. Водомерная рейка Клаузен — Пирс. Новый, простой, дешевый метод применения водосливов различных типов для измерения оросительной воды недавно разработали Клаузен и Пирс (Clausen and Pierce) на оросительной системе Соленой реки в Аризоне. Этот метод применим для измерения расхода воды в весьма широких пределах, а именно от 1 куб. фута и менее до нескольких тысяч куб. футов в секунду. Сталкиваясь с проб-

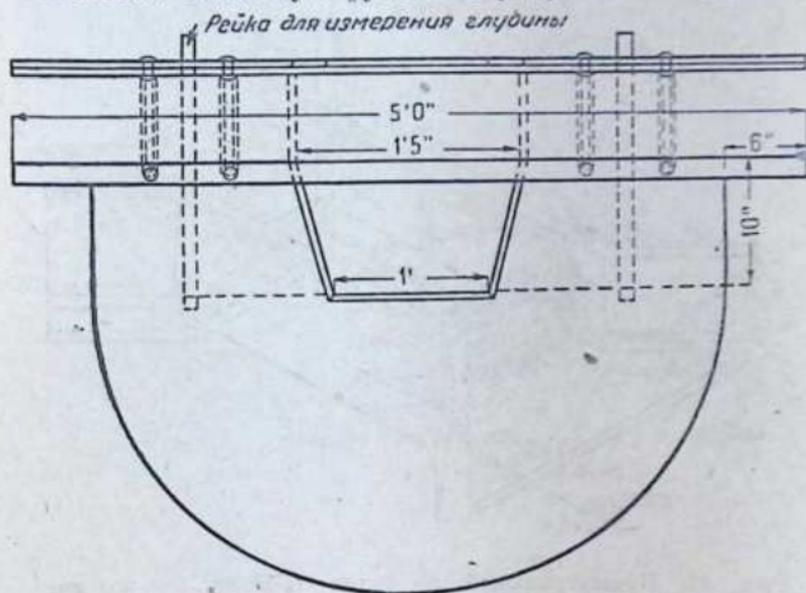


Рис. 20. Переносный стальной водослив (из Utah Agr. Exp. Sta Circular 36).

лемой учета воды при распределении ее между большим числом оросителей, составители нового метода старались упростить общие правила для надлежащей установки и эксплуатации водосливов, приведенные в § 39. Особое внимание при этом было уделено моментам, касающимся скорости течения при приближении к водосливу и затоплению его (см. пункты 1 и 7 § 39).

Новая система заключается в применении легкого, градуированного, растягивающегося стержня с пиезометром на конце, причем при измерениях стержень держат непосредственно на пороге водослива, не принимая в расчет ни скорости подхода воды к водосливу, ни высоты последнего, ни изменений впереди водослива или за ним.

Измерительный стержень так спроектирован, чтобы включить влияние скорости приближения для открытых незатопленных водосливов, и расход на дюйм порога может быть сразу прочитан на лицевой стороне стержня. Учет расхода воды через затопленные водосливы может быть получен, используя свойство растя-

жимости стержня, а также и пнезометра двумя простыми операциями.

Два важнейших достижения нового прибора, по мнению лиц, спроектировавших его, заключаются в следующем: 1) устраняется необходимость дорогих специальных сооружений в каналах и арыках; не требуется ничего, кроме прямоугольного сечения, через которое может быть пропущена струя, и 2) открывается возможность применения в практике орошения полей водослива с затопленным отверстием без необходимости тщательного опреде-

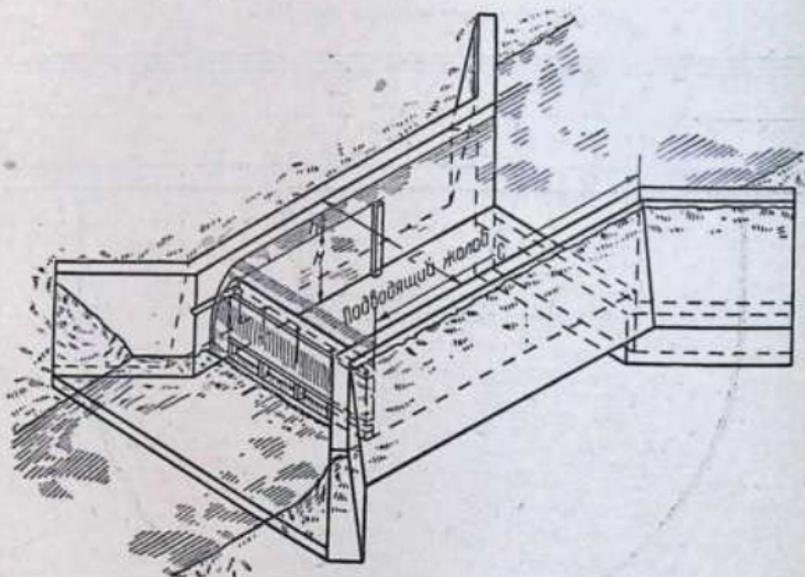


Рис. 21. Прямоугольный водослив Лаймана без бокового сжатия (из Utah Agr. Exp. Sta. Circular 36).

ния напоров или скоростей или сравнительно сложных вычислений, пользуясь простым и надежным методом измерения любого объема течения при любых разностях верхнего и нижнего его уровней.

**43. Водомер Паршалля.** Работая от департамента земледелия США на сельскохозяйственной опытной станции в Колорадо, Паршалль (Parshall) недавно спроектировал водоизмерительный прибор, при помощи которого расход воды определяется путем измерения депрессии, вызываемой при стеснении потока в суженном канале с пониженным дном. Недостатки водосливов и затопленных отверстий в значительной мере устранены в водомере Паршалля. Однако, так как напор  $H$ , на котором основывается учет, весьма мал, то для точного учета необходима чрезвычайная тщательность при определении разностей в уровне воды. Водомер изображен на рис. 22. Водомер Паршалля является плодом многолетних усердных изысканий. Вначале он был известен под именем водомера Вентури, так как до известной степени был сходен с трубой или измерительным прибором Вентури, спроектированным для измерения течения воды

в трубах. Позже он был назван усовершенствованным водомером Вентури. Детальные данные, касающиеся проектирования, конструкции и использования его, имеются в недавно вышедшем бюллетене Паршалля, приведенном в списке литературы к настоящей главе.

**44. Гидрометрическая вертушка.** Одним из наиболее употребительных приборов для измерения текущей воды является гидрометрическая вертушка, один из типов которой изображен в работе под водой на рис. 23.

Вертушка калибруется путем продвижения в спокойной воде с определенной скоростью и регистрации при этом числа оборо-

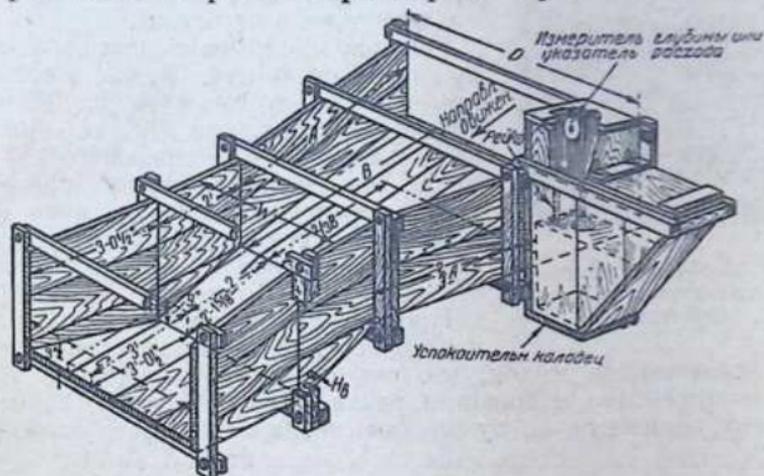


Рис. 22. Водомер Паршалля вместе с успокоительным колодцем и с указателем расхода.

тов в секунду. Если калиброванную вертушку установить неподвижно в текущей воде на надлежащей глубине, возможно определить среднюю скорость течения воды путем подсчета числа оборотов в секунду. Установлено, что в потоках глубиной не свыше 1,5 фута средняя скорость течения будет примерно на 0,6 глубины<sup>1</sup>, в потоках же свыше 1,5 фута глубины средняя скорость равняется средней между скоростями на глубинах 0,2 и 0,8. При измерении текущей воды весьма важно, чтобы вертушка помещалась на точке или в точках средней скорости течения. Другой способ определения средней скорости течения в потоке — это интегральный метод, при котором вертушка медленно и с постоянной скоростью повышается и понижается от дна до поверхности потока.

Практически во всех больших каналах и реках расход воды исчисляется на основании показаний скорости вертушки и измерений площади поперечного сечения.

<sup>1</sup> Некоторые специалисты утверждают, что скорости, определяемые на 0,6 глубины в мелких ручьях, обыкновенно на 4—5% выше действительной средней скорости.

Измеряя расход воды в канале или реке на нескольких различных горизонтах или глубинах, инженер получает ряд данных, определяющих отношение между глубиной воды и ее расходом в реке. Изменения глубины обыкновенно относят к постоянной точке репера или к нулю поста, а вертикальные расстояния над нулем поста означаются отметками горизонтов. После измерения расхода воды при различных отметках горизонта инженер наносит на график кривую расходов, подобно тому как это изображено на рис. 24.

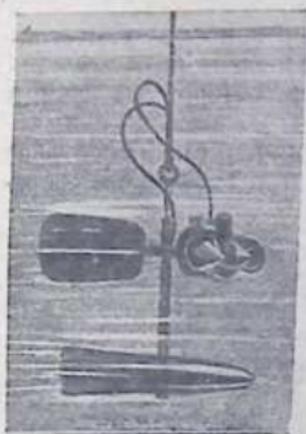


Рис. 23. Гидрометрическая вертушка Гури в действии.

Рисунок показывает расход воды в пределах от 0 куб. футов в секунду при отметке в 0,4 фута до 100 куб. футов в секунду при отметке горизонта в 2,35 фута. При каждой данной отметке горизонта в указанных пределах можно определить расход воды по приложенному графику. Например, при отметке горизонта в 1 фут расход воды составляет 25 куб. футов в секунду.

Главные преимущества гидрометрической вертушки для измерений течения заключаются в том, что она не требует остановки течения и применима к большим рекам. Для того чтобы прочесть отметку горизонта, не нужно быть технически образованным, но

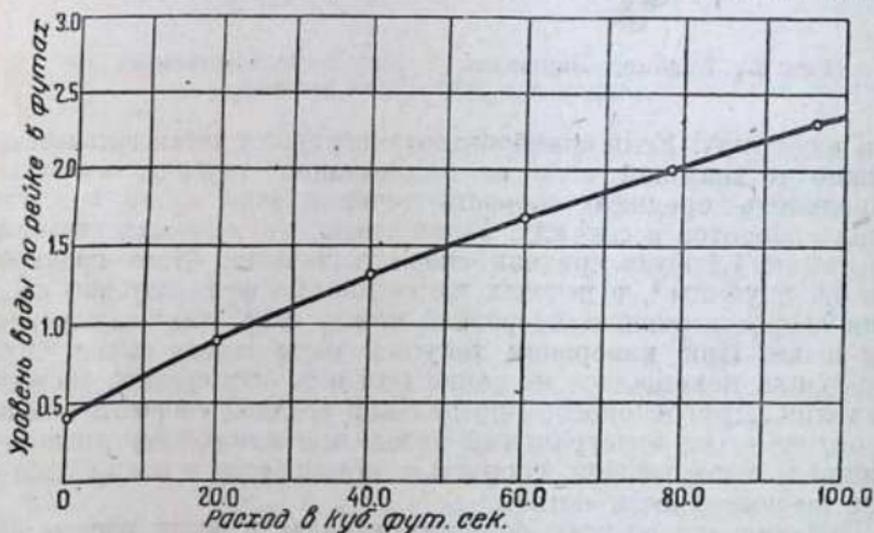


Рис. 24. Типичная кривая расхода воды для оросительного канала.

правильное применение гидрометрической вертушки, составление таблиц и нанесение кривых являются уже задачей специалиста по гидрометрии или инженера.

За последние годы для измерения течения Г о ф ф (Hoff) разработал сравнительно простой водомер, приспособленный для самых разнообразных условий течения.

**45. Механическое измерение и регистрирующие приборы.** За последние годы был сконструирован целый ряд механических приборов для измерения воды. Большинство этих приборов не только измеряет скорость течения, но также автоматически регистрирует общее количество воды, протекающей в каждый данный отрезок времени.

Из приборов, наиболее заслуживающих внимания в настоящее время, можно указать следующие: счетчик Детриджа (Dethridge), счетчик Гилля (Hill), счетчик Вентури (Venturi), счетчик Релайенса (Reliance) и водный регистратор Лаймана (Luman). Счетчик Детриджа, сконструированный и широко применяемый в Австралии, был тщательно испытан департаментом земледелия США и сельскохозяйственной опытной станцией в Колорадо.

**46. Распределение оросительной воды.** Вода должна подходить к распределителю параллельными струями, без водоворотов.

В обеспечение этого условия разделительный ящик должен быть помещен в нижнем конце длинного жолоба или узкого открытого канала. Дно канала непосредственно над распределителем должно быть выравнено наклонно. Если вода не очень загрязнена илом, желательно, чтобы она медленно подходила к распределителю. Для рек, в значительной степени загрязненных илом или гравием, в канале не должно быть препятствий в форме перемычки, и скорость, с которой вода поступает в разделитель, должна поддерживаться на протяжении всего сооружения. На рис. 25 изображен вододелитель, применяемый для горных потоков, которые несут значительное количество гравия. Весьма важно, чтобы при приближении к этим сооружениям имелся длинный узкий канал.

Допущение накопления гравия или щебня в канале при приближении к распределителю будет вызывать водовороты и препятствовать правильному распределению воды.

Расход через водослив может быть легко разделен помещением остро-реберной перегородки под водосливом для разделения потока, спадающего через порог. Гребень упомянутой перегородки должен быть расположен значительно ниже порога водослива для обеспечения свободной циркуляции воздуха между вододелителем и струей воды, падающей через водослив. Сток воды через водослив не точно пропорционален длине гребня; однако, если считать его таковым, ошибка в расчетах будет весьма незначительной.

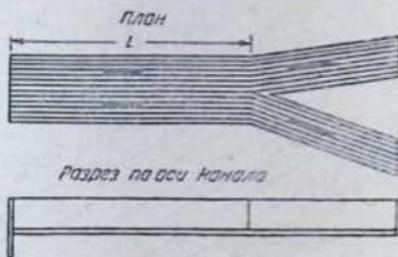


Рис. 25. Типичный вододелитель для потоков, несущих большое количество гравия (из Utah Agr. Exp. Sta. Circular 77).

Наиболее желательной формой водослива при применении его для вододеления будет трапецидальная. Расход через такой водослив почти пропорционален длине порога. Если желают разделить поток на две части, одну — содержащую  $\frac{5}{6}$ , другую —  $\frac{1}{6}$  текущей воды, то вододелитель должен быть помещен на  $\frac{1}{6}$  расстояния от конца водоема. Рис. 26 изображает трапе-

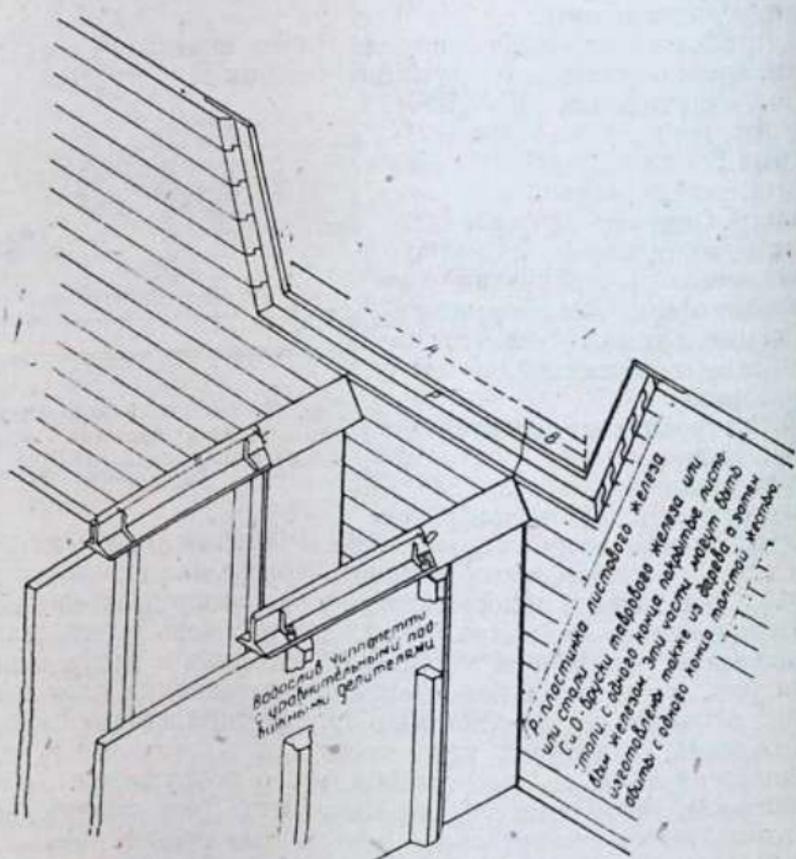


Рис. 26. Водослив с подвижными делителями (из Utah Agr. Exp. Sta. Circular 6).

цецидальный водослив, приспособленный для разделения потока на три части.

Для разделения потока на две равные части вполне пригоден прямоугольный водослив, как с боковым сжатием, так и без него.

В местностях, где вода распределяется на разные участки хозяйства по подземным трубам, необходимо сооружение специальных водомеров для пропорционального разделения воды. Ти-

пичный пропорционально-разделительный бетонный водомер, соединенный с трубопроводом, изображен на рис. 27, а на рис. 28 представлен бетонный разделительный водомер со щитами.

47. Эквиваленты применяемых в Америке единиц измерений. Приводим ниже эквиваленты применяемых в Америке единиц измерения.

Единицы тока:

1. 1 куб. фут/сек = 50 «рудных дюймов» штата Юта.

2. 1 куб. фут/сек = 7,48 галлона (США) в секунду, 448,8 (примерно 450) галлона в минуту и 646 272 галлона за сутки.

3. 1 секундо-фут = 1 акро-дюйм в час (приблизительно).

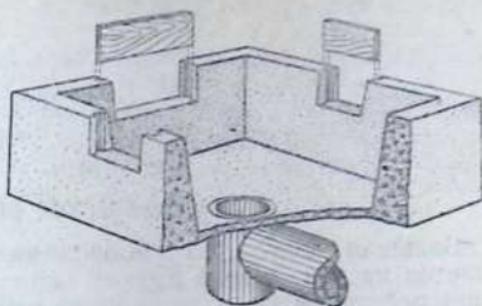


Рис. 27. Пропорциональный вододелитель (из U. S. Dept. Agr. Farmers' Bull. 348).

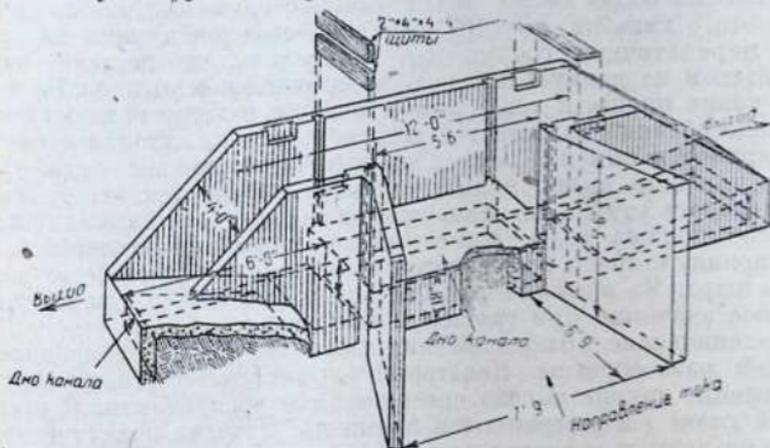


Рис. 28. Бетонный вододелитель (из U. S. Dept. Agr. Farmers' Bull. 1243).

Единицы покоящейся воды:

4. 1 акро-фут = 325 850 галлонов = 43 560 куб. фут.

5. 1 куб. фут воды весит 62,5 фунта.

6. 1 галлон = 8,36 фунта воды.

7. 1 галлон = 231 куб. дюйма (мера жидкости).

## МЕХАНИЧЕСКОЕ ОРОШЕНИЕ

Большая часть воды для орошения на всем земном шаре получается из рек, озер и других водохранилищ самотечным путем под действием силы тяжести на каждую единицу массы воды, как это было изложено в гл. II. Однако существуют обширные площади пахотной земли, на которые, вследствие характера их местоположения, имеющаяся в наличии вода не может быть доставлена самотеком. Другие площади хотя и могут быть снабжены водой самотеком, но топография местности в отношении снабжения водой такова, что стоимость сооружения необходимых для этого каналов, желобов, обратных сифонов, туннелей и других передаточных сооружений так велика, что доставка воды самотеком на данную площадь экономически невыгодна. На многие такие площади вода подымается при помощи механических приспособлений из естественных источников, находящихся на поверхности или под землей, на высоту наивысших частей участка или еще выше, если пункты отдалены, так, чтобы вода растекалась оттуда по земле самотеком для оросительных целей. Способ подема воды, известный под названием механического орошения, широко применяется в засушливых местностях земного шара. Во влажных районах США этот способ приобретает важное значение при орошении дождеванием.

Механические приспособления для подема воды для орошения весьма разнообразны. Некоторые из них первобытны и непродуктивны, другие высоко совершенны и продуктивны. В настоящей главе рассматриваются принципы и задачи механического подема воды в сравнительно незначительных количествах для индивидуальных хозяйств. Они не включают в себе инженерных проблем, охватывающих проектирование и эксплуатацию обширных ирригационных систем.

**48. Потребная мощность и коэффициенты полезного действия насосных установок.** Механическая сила определяется скоростью производства работы, а работа определяется как произведение силы на расстояние. В качестве единиц сил в деле орошения в США обычно применяются футо-фунты в секунду или лошадиные силы. Иными словами, для того чтобы поднять, например, 2 куб. фута воды (125 фунтов) на 1 фут в вертикальном направлении, каждую секунду потребуется 125 футо-фунтов при условии, что коэффициент полезного действия насосной установки

будет равняться 100%. Если коэффициент полезного действия насосной установки будет равняться только 50%, потребуется 250 футо-фунтов в секунду; таким образом, получится потеря примерно половины общей потребной силы на преодоление трения, создание тепла и т. д.

Наиболее принятой в США единицей силы служит лошадиная сила, которая равняется 550 футо-фунтам в секунду<sup>1</sup>, или 33 000 футо-фунтам в минуту. Одна лошадиная сила может поднять 1 куб. фут воды (62,5 фунта) в секунду на 8,8 фута высоты при коэффициенте полезного действия, равном 100%, как это видно из нижеследующего уравнения:

$$\text{Лошадиная сила} = \frac{1 \times 62,5 \times 8,8}{550} = 1.$$

Но так как достигнуть 100% полезного действия невозможно то указанная лошадиная сила для под'ема 1 куб. фута в секунду на данную высоту называется «теоретической лошадиной силой». Коэффициент полезного действия насосной установки определяется, как отношение отдаваемой силы к поглощаемой. Электричество, газ, керосин, потребляемые мотором или двигателем, являются поглощенной силой. Поэтому, если электромотор фактически поглощает, например, 51,62 HP (л. с.) электрического тока для под'ема 5 куб. фут. в секунду на высоту 45,5 фута, то коэффициент полезного действия равен 50%. Отсюда для того, чтобы выяснить действительную потребность в мощности, достаточно разделить теоретическую потребность на коэффициент полезного действия, выраженный десятичной дробью. Таким образом, для под'ема 5 куб. футов в секунду на 45,5 фута высоты при коэффициенте полезного действия установки в 50% действительно потребуются:

$\frac{25,81}{0,50} = 51,62$  HP (л. с.). Энергия, вырабатываемая электромотором или двигателем для приведения в движение вала, называется тормозной мощностью. Отношение полезной (насосной) мощности, вырабатываемой насосом (производительность), к тормозной мощности (энергии), потребляемой насосом, называется коэффициентом полезного действия насоса. Чтобы составить себе более ясное понятие о потреблении различного топлива при накачивании воды, полезно припомнить формулу:

$$\text{сила} = \frac{\text{работа}}{\text{время}} \quad (24)$$

и отсюда:

$$\text{работа} = \text{сила} \times \text{время}. \quad (25)$$

Выражением лошадиная сила-час пользуются для обозначения непрерывного поглощения или 'отдачи одной лошадиной

<sup>1</sup> По метрической системе лошадиная сила равна 75 кгм в секунду. Прим. перев.

силы в течение одного часа, и, следовательно, она равна  $550 \times 60 \times 60$  футо-фунтам работы. Термины работа и энергия в основе равнозначны и употребляются один взамен другого.

Мощностью насоса называется энергия, теоретически потребная для под'ема данного количества воды в секунду на определенную высоту. В механическом под'еме воды для орошения она обозначает «производительность». Из предшествующих определений видно, что:

$$HP_w = \frac{62,5 qh}{550} = \frac{qh}{8,8}, \quad (26)$$

где  $HP_w$  — мощность насоса в л. с.,  
 $q$  — подача воды в куб. фут./сек.,  
 $h$  — вертикальный под'ем в футах.

Если предпочтительней измерить силу в галлонах в минуту, то:

$$HP_w = \frac{8,33 qh}{33\,000} = \frac{qh}{3\,960}, \quad (27)$$

Уравнения (26) и (27) полезны для определения мощности насоса, если  $q$  и  $h$  известны. Кроме того, согласно формуле, приведенной выше:

коэффициент полезного действия насосной установки

$$= \frac{qh}{8,8 \times \text{поглощенная мощность}}. \quad (28)$$

Производимые время от времени испытания на месте коэффициентов полезного действия предохраняют водопользователя от слишком низких коэффициентов и, следовательно, слишком дорогой эксплуатации.

Джонстоном (Johnston) в Калифорнии были испытаны на месте коэффициенты полезного действия 91 насосной установки. Результаты этих испытаний выразились в следующих средних величинах: 49,8% для центробежных насосов; 40,5% для турбинных центробежных насосов для глубоких колодцев и 44,5% для винтовых насосов для глубоких колодцев. Наивысший найденный коэффициент полезного действия равнялся 70%, а наиболее низкий — 15,2%. Джонстон подчеркивает необходимость для водопользователя поддерживать насосные установки в хорошем состоянии, утверждая, что низкие коэффициенты, найденные при произведенных на месте исследованиях, в значительной степени должны быть отнесены на счет плохого содержания владельцами своих установок.

**49. Высота механического под'ема воды.** Высота, на которую должна быть поднята вода для оросительных целей, очень разнообразна. В некоторых местностях, а именно в некоторых частях Египта и Индии, вода поднимается всего только на

несколько футов, тогда как в других местностях, как, например, в некоторых частях Калифорнии, ее приходится поднимать на несколько сотен футов. На основании изложенного в § 48 видно, что требуемая для каждой данной величины оросительной струи сила более или менее пропорциональна под'ему. Разность между высотой поверхности пруда, озера или реки, откуда накачивается вода, и высотой поверхности воды в распределительном канале называется обыкновенно «геометрической высотой». При накачивании воды из подземных источников геометрическая высота включает в себе также и понижение уровня грунтовых вод, т. е. высоту, потребную для образования напора, необходимого для продвижения такого же точно объема воды в секунду из почвы в колодец, какой выкачивается насосом и подается на поверхность земли. Желательно всегда избегать чрезмерного понижения уровня грунтовой воды для того, чтобы избежать потребности в слишком большой силе. Кроме той силы, которую нужно затратить насосу для под'ема воды на геометрическую высоту, известное количество силы должно быть еще затрачено на преодоление сопротивления трения, резких изгибов труб и других факторов, задерживающих движение воды. Наличием этих препятствий объясняется тот факт, что коэффициенты полезного действия насосных установок колеблются примерно от 75% при очень благоприятных условиях и до 20% и ниже при неблагоприятных условиях.

В штатах Юта и Айдаго в обычной фермерской практике только в редких случаях бывает выгодно накачивать воду для орошения на геометрическую высоту, превышающую 75 футов (23 м), но в некоторых частях тихоокеанских прибрежных штатов с интенсивным сельским хозяйством экономически выгодным оказывается механический под'ем воды на геометрическую высоту в 300 футов (90 м) и более. Весьма важно для хозяев, предполагающих пользоваться механическим под'емом воды для орошения, иметь ввиду, что стоимость накачиваемой механическими приспособлениями воды приблизительно пропорциональна высоте ее под'ема. Проекты механического под'ема воды на значительную высоту, ранее чем производить капитальные вложения, должны подвергаться самому тщательному рассмотрению; с другой стороны, не следует упускать из виду надежные водные запасы, которые могут стать доступными при механическом под'еме воды всего лишь на несколько футов.

**50. Примитивные методы накачивания воды для орошения.** Под'ем воды для орошения практиковался уже много столетий тому назад в Египте, Индии и других древних странах, где орошение необходимо для земледелия. Одним из древнейших приспособлений, применяемых в Египте и Индии, является так называемая *н а т а л и* или качающаяся корзина, представленная на рис. 29. При помощи этого простого приспособления, являющегося просто кожаным ковшом, 2 человека могут поднять приблизительно 12 галлонов (45,4 литра) воды в минуту на высоту от 3 до 4 футов (90—120 см). Основываясь на принятом предположении, что работа человека равняется  $\frac{1}{8}$  HP (л. с.), коэф-

циент полезного действия «натали» достигает всего лишь 50%<sup>1</sup>.

Другое примитивное приспособление, именуемое шадуф, до сих пор еще применяемое в Египте и некоторых других древних странах, изображено на рис. 30. Это приспособление основано на принципе рычага с подвешенной точкой опоры и противовесом. Ковш, подвешенный к длинному концу жерди (журавля), делается обычно из кожи, скрепленной вдоль верхнего края деревянным обручем. Рабочий нажимает собственным весом на коромысло, ковш наполняется и противовес поднимает его к следующему, выше расположенному водоему, в который вода выли-



Рис. 29. «Натали» или качающаяся корзина (из U. S. Dept. Agr. O. E. S. Bull. 130).

вается. Каждый шадуф обслуживается одним человеком, который может поднять воду всего только на 5—6 футов (150—180 см), но иногда шадуфы устанавливаются сериями по 3—4 подряд, поднимая, таким образом, воду на 20 футов (6 м) и более. При помощи шадуфа один человек может поднять примерно 22 галлона (83 л) в минуту на высоту от 5 до 6 футов (150—180 см), что дает коэффициент полезного действия приблизительно в 25%.

<sup>1</sup> Характерно для капиталистического производства, что примитивные методы накачивания воды для орошения, иллюстрируемые рис. 29—32, до сих пор применяются в странах-колониях, где, благодаря существующей эксплуатации и низкой оплате труда, применение их представляет определенные выгоды для владельцев и предпринимателей. Для читателей СССР, где широкое внедрение механизации лишь облегчает труд и отвечает запросам рациональной организации производства (в том числе и ирригационного дела), описанные в настоящей главе методы накачивания воды для орошения не представляют интереса и нами сохраняются в тексте лишь в качестве справки, характеризующей этапы развития техники ирригации и для связи с последующим текстом изложения. Примеч. переводчика.

Еще одно приспособление — архимедов винт — представлено на рис. 31. Хотя, как правило, им работают вручную, в некоторых частях Египта для его движения приспособляются маленькие моторы. Конструкция и использование этого приспособления описываются Джонстоном (Johnston) следующим образом:

«Вокруг железной штанги около 4—4,5 м длины устраивается винтовая оторочка, составленная из мелких кусочков дерева, настолько плотно скрепленных, чтобы не пропускать воды. Винт вставляется в водонепроницаемый деревянный цилиндр. Цилиндр делается обычно около 40 см в диаметре и редко превышает 2,5—3 м длины. Шаг резьбы равняется примерно  $1\frac{1}{2}$  диаметра на один оборот. Штанга выдвигается с обоих концов цилиндра и поддерживается на стойках. Цилиндр устанавливается с наклоном примерно в  $30^\circ$  к горизонту, и нижний конец его опускается в воду. К верхнему концу штанги приделывается коленчатая ручка. Винт приводится во вращение одним или двумя мужчинами; в редких случаях, когда он очень велик или имеется большой подъем, применяется небольшой мотор. Высокие подъемы фактически неосуществимы вследствие трудности установки винта чрезмерной длины. Это приспособление более продуктивно, чем подъемные машины, изобретенные местными жителями. Пользуясь им, один мужчина может оросить от 0,4 до 0,8 га в день, при условии, что подъем не выше 60 см».

Накачивающий механизм, приводимый в действие живой тяговой силой, как видно из рис. 32, известен под названием сакне (Sakiyeh) или персидское колесо и до сих пор широко применяется в Египте, в Индии и в некоторых других древних странах (в Средней Азии — чигири или норин). Джонстон следующим образом описывает конструкцию и использование этого механизма:

«Сакне состоит из горизонтального деревянного зубчатого

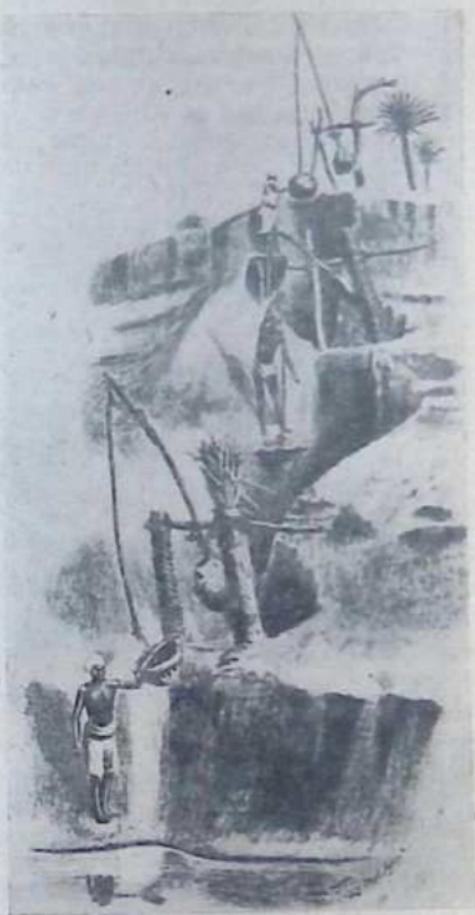


Рис. 30. «Шадуф» (из U. S. Dept. Agr. O. E. S. Bull. 130).

Колеса около 3 м в диаметре. Колесо надето на вертикальную ось, которая закреплена на деревянной подставке и удерживается на месте деревянным брусом, расположенным около 180 см над уровнем земли. Горизонтальное колесо, приводимое в движение воллом или лошадью, соединено зубцами с вертикальным деревянным колесом на горизонтальной оси. К этой же оси прикреплено другое, большее вертикальное колесо с глиняными сосудами, которые поднимают воду.

В некоторых местностях сакне приводится в действие при помощи течения воды в каналах.

Производительность сакне достигает от 15 до 25 галлонов (от 56 до 95 л) в минуту при под'емах от 8 до 12 футов (от 240 до

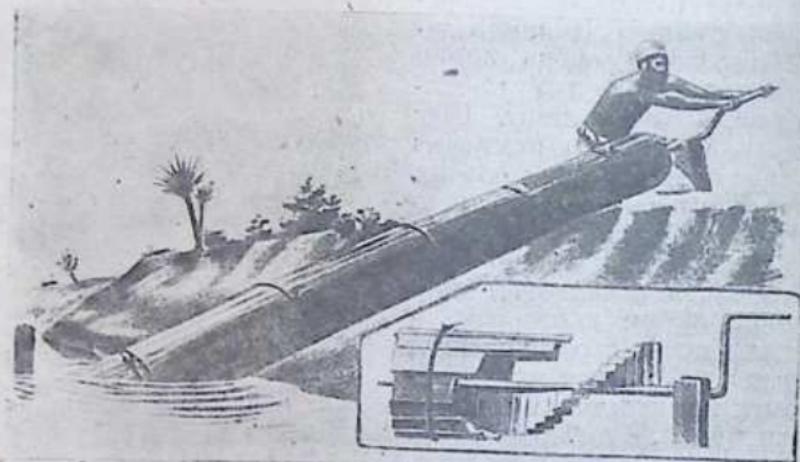


Рис. 31. Архимедов винт. Справа видна внутренняя конструкция (из U. S. Dept. Agr. O. E. S. Bull. 130).

360 см). Принимая в среднем производительность в 20 галлонов (75 л) при под'еме на 10 футов (3 м) и принимая также работу вода равной  $\frac{1}{2}$  НР, получим коэффициент полезного действия примерно в 10%.

**51. Современные методы механического под'ема воды для орошения.** В противоположность примитивным методам накачивания воды для орошения, из которых часть кратко описана выше, в настоящее время во многих орошаемых хозяйствах обычно применяют насосы высокой производительности. В западных штатах Северной Америки конструкция и использование насосов за последние годы значительно продвинулись вперед. Кроме того, значительно снижены расходы по накачиванию благодаря добыванию энергии из угля, газа, нефти, неочищенной нефти и электричества, заменивших энергию человека и животных.

Современные методы механического под'ема воды основаны на многолетних лабораторных исследованиях, а также и на тщательном изучении компетентными инженерами полевых условий под'ема. Эти исследования привели к выработке водопод'емных

механизмов разных классов и типов, соответствующих различным требованиям и условиям работы.

**52. Характеристика насосов.** Для наиболее продуктивного использования современных насосов для добывания поливной воды необходимо подбирать такие из них, которые наиболее приспособлены к данным условиям работы. Если количество накачиваемой воды значительно ниже того количества, для которого предназначен насос, и напор чрезмерно высок, получится низкий



Рис. 32. Сакле или персидские колеса (Из U. S. Dept. Agr. O. E. S. Bull. 130).

коэффициент полезного действия. Точно так же насос может накачивать больше воды, чем ему предназначено, при напоре ниже нормального, и это также обусловит низкий коэффициент полезного действия. Взаимоотношения между скоростью, напором, расходом и мощностью насоса обычно изображаются кривыми, которые называются «кривыми характеристики». Знакомство с характеристикой насосов позволяет приспособить последние к определенным производственным условиям и достичь таким образом высокой производительности и уменьшения эксплуатационных расходов. Характеристики стандартных горизонтальных центробежных насосов представлены на рис. 33. Эти кривые показывают, например, что для количеств воды от 700 до 1440 галлонов (от 2,6 до 5,4 куб. м) в минуту при высотах напора от 105 до 65 футов (31,5 до 19,5 м) коэффициент полезного действия насоса будет равняться или превышать 70%, и что насос достигнет максимального коэффициента полезного действия в 82% при 1100—1200 галлонах (4,1—4,5 куб. м) воды в минуту и при напоре примерно в 90 футов (27 м).

**53. Типы насосов.** Для орошения применяется много различных насосов. Наиболее часто употребляемые насосы можно разбить на 4 основных типа, а именно: 1) центробежные, 2) турбинные для глубоких колодцев, 3) насосы винтового типа или прямого тока и 4) возвратно-поступательные или поршневые насосы. При подготовке колодцев применяются иногда воздушные насосы, но в виду их низкой производительности они редко применяются для постоянного накачивания. Ниже приводится краткое описание конструкции каждого из четырех названных типов насосов.

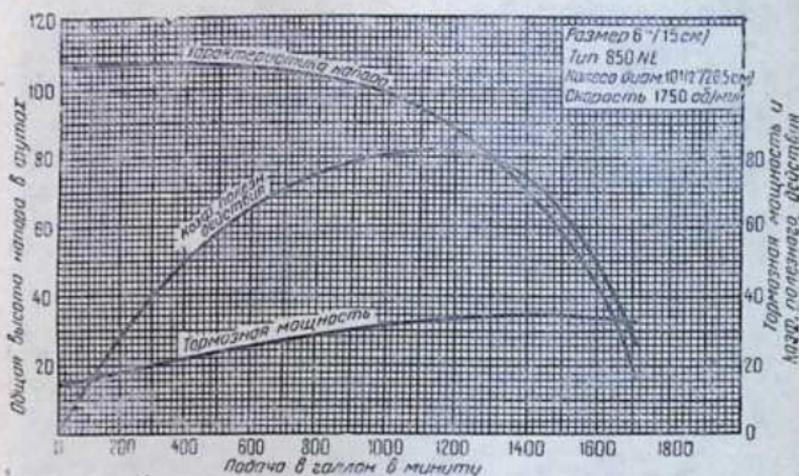


Рис. 33. Пример кривых характеристики из отчетов испытаний.

**54. Центробежные насосы.** Центробежный насос состоит из вращающегося лопастного колеса внутри камеры, в которую вода поступает от центра колеса и выталкивается к периферии. Насос передает воде энергию в форме ускорения и давления. Имеются два типа центробежных насосов: спиральный и турбинный. Основное их различие заключается в том, что в насосах турбинного типа вокруг колеса насоса прикреплены распылительные лопасти для более продуктивного превращения энергии скорости в энергию давления. Центробежные насосы устроятся как с горизонтальным, так и с вертикальным валом. При приведении их в действие электричеством они обычно непосредственно соединяются с валом мотора, при условии, что таким образом можно достичь необходимой скорости. По производительности центробежные насосы варьируют от нескольких галлонов в минуту до 300 куб. футов в секунду и более. Насосы, обычно употребляемые для небольших орошаемых хозяйств, обладают производительностью от  $\frac{1}{5}$  до 5 куб. футов в секунду. Современный одноступенчатый спиральный центробежный насос с раздвоенной камерой и с горизонтальным валом, непосредственно соединенный с мотором, представлен на рис. 34.

Центробежные насосы с горизонтальным валом обычно помещаются выше поверхности воды, которую они должны накачивать, и, следовательно, подача воды к насосу находится в зависимости от атмосферного давления. Для того чтобы привести в действие такие насосы, необходимо заполнить водой всасывающую трубу и камеру насоса, вытеснив из них, таким образом, воздух. Обычно наиболее выгодно поместить насос как можно

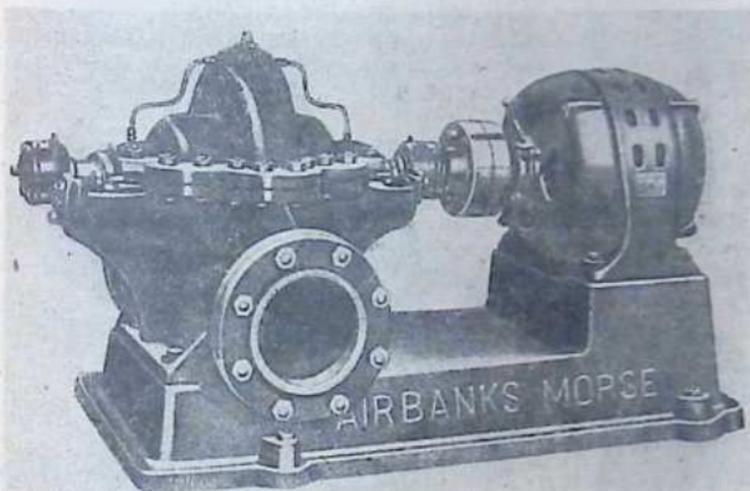


Рис. 34. Шарикоподшипниковый центробежный насос, непосредственно соединенный с мотором.

ближе к водной поверхности. Необходимо, однако, при этом защитить его от затопления во время подъема воды. Особенно важно защищать от затопления насосы, непосредственно соединенные с электрическими моторами. Максимальная высота всасывания в местностях, лишь незначительно возвышающихся над уровнем моря, равняется примерно 7,5 м. В более высоких местностях высота всасывания будет пропорционально меньше. Центробежные насосы с горизонтальным валом доставляют сравнительно мало затруднений, обладают высоким коэффициентом полезного действия, выдерживают большую скорость вращения и удобно соединяются с электрическими моторами. Насос, изображенный на рис. 34, работает со скоростью 1750 оборотов в минуту. Вал и колесо насоса вместе с другими деталями этого же насоса изображены на рис. 35.

**55. Турбинные насосы для глубоких колодцев.** Для добывания воды из глубоких узких трубчатых колодцев в настоящее время разработаны и усовершенствованы глубинные турбинные центробежные насосы. Вращающееся колесо помещено на вертикальном вале в компактный цилиндр, причем один агрегат в целом на-

зывается ступенью. Для больших подъемов применяются две и более ступени, помещенные в сериях близ дна колодца. На рис. 36 представлен двухступенчатый турбинный насос для глубоких колодцев. Насос приводится в действие электрическим мотором или другим первичным двигателем, установленным на поверхности земли и соединенным с насосом длинным вертикальным валом. Последний удерживается на месте подшипниками, укрепленными в спускной или нагнетательной трубе. Работая в затопленном состоянии, турбинные центробежные насосы с вертикальным валом не требуют заполнения водой и выдерживают довольно значительные колебания уровня воды, не требуя пере-

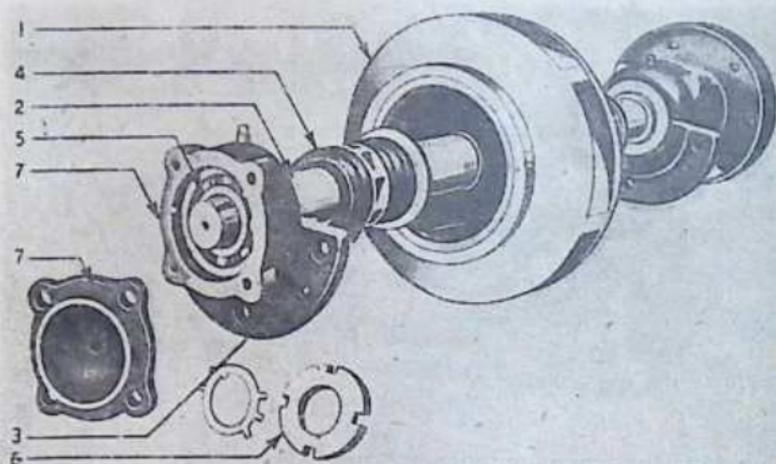


Рис. 35. Части колеса и вала насоса (в разобранном виде): 1— колесо насоса, 2— шлифованный стальной вал; 3— кольцо водяного затвора, 4— прокладка, 5— стандартный шарикоподшипник, 6— закрепная гайка, 7— станина и предохранительная коробка для шарикоподшипников.

установки. Недостатком этого типа насосов является то, что рабочие части их недоступны и поэтому трудно поддаются осмотру и ремонту. Вполне естественно, что у этих насосов чаще встречается более низкий коэффициент полезного действия, чем у насосов с горизонтальным валом, так как нередко с ними продолжают еще работать, когда подшипники уже сильно изношены, и иногда не приступают к ремонту до тех пор, пока насос не отказывается совершенно служить. На рис. 37 представлены различные части турбинного насоса, а также положение вала и нагнетательной трубы. Другая форма турбинного насоса представлена на рис. 38. Внимательное сравнение обнаруживает заметные различия в колесах на рис. 37 и 38, хотя оба типа применяются для турбинных центробежных насосов. Хотя насос, представленный на рис. 38, является турбинным насосом, следует заметить, что патентованное полуот-

крытое колесо несколько напоминает винтовой тип колес, кратко описываемых ниже.

**56. Винтовые насосы.** Винтовой насос состоит из быстро вращающихся винтообразных рабочих колес (импеллеров), прикрепленных к валу, установленному на подшипниках внутри нагнетательной трубы. Действие винтового насоса в воде иногда сравнивается с действием вращающегося вентилятора в воздухе — оба гонят вперед окружающую их среду вращением наклонных плоскостей. Применяются как горизонтальные, так и вертикальные валы, но применение первых ограничивается условиями под'ема больших количеств воды на малые расстояния. Винтовые насосы на вертикальных валах широко применяются для глубоких колодцев; условия их применения, их преимущества и недостатки ясно изложены Джонстоном в следующих словах:

«Винтовой насос для глубоких колодцев представляет серию мелкопод'емных насосов, установленных на одном валу таким образом, что они действуют как единое целое. Они состоят из секторов, около 180 см длины каждый. Каждый сектор состоит из двух винтовых колес, установленных на одном подшипнике, который поддерживается крестовиной, расположенной между двумя колесами. Плоскости крестовины удерживают воду от вихревого движения по мере ее под'ема. Второй набор лопастей помещается поверх верхнего колеса в каждом секторе, чтобы задержать вихревое движение воды, выходящей из колеса. Общий под'ем на каждый винт не может превышать около 6 футов (180 см), но наивысший коэффициент полезного действия насос этого типа дает при под'емах от 2,5 до 3 футов (от 75 до 90 см).

При пользовании винтовыми насосами встречаются с такими же трудностями для передачи силы, как и в турбинных с длинными валами для глубоких колодцев. Так как вал и подшипники с винтами, укрепленными вдоль вала, невозможно защитить от взвешенных в воде частиц, подшипники постепенно стираются. Этот недостаток уравновешивается приспособленностью

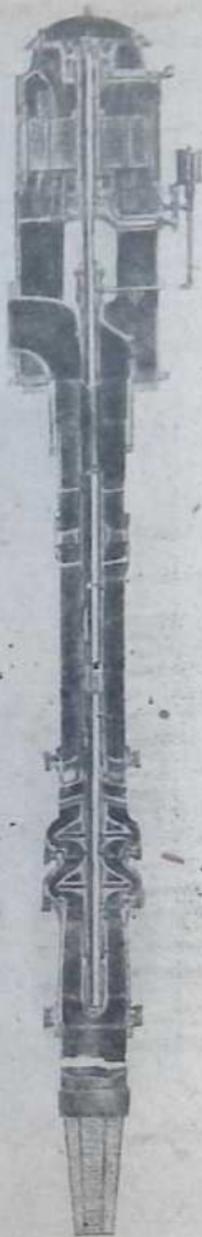


Рис. 36. Разрез двух-ступенчатого турбинного насоса Байрон-Джексон с мотором.

Этих насосов к изменениям уровня воды, так как сектора насоса, добавляемые или удаляемые сверху, смотря по надобности, дают возможность следовать за колебаниями уровня воды. Напро-

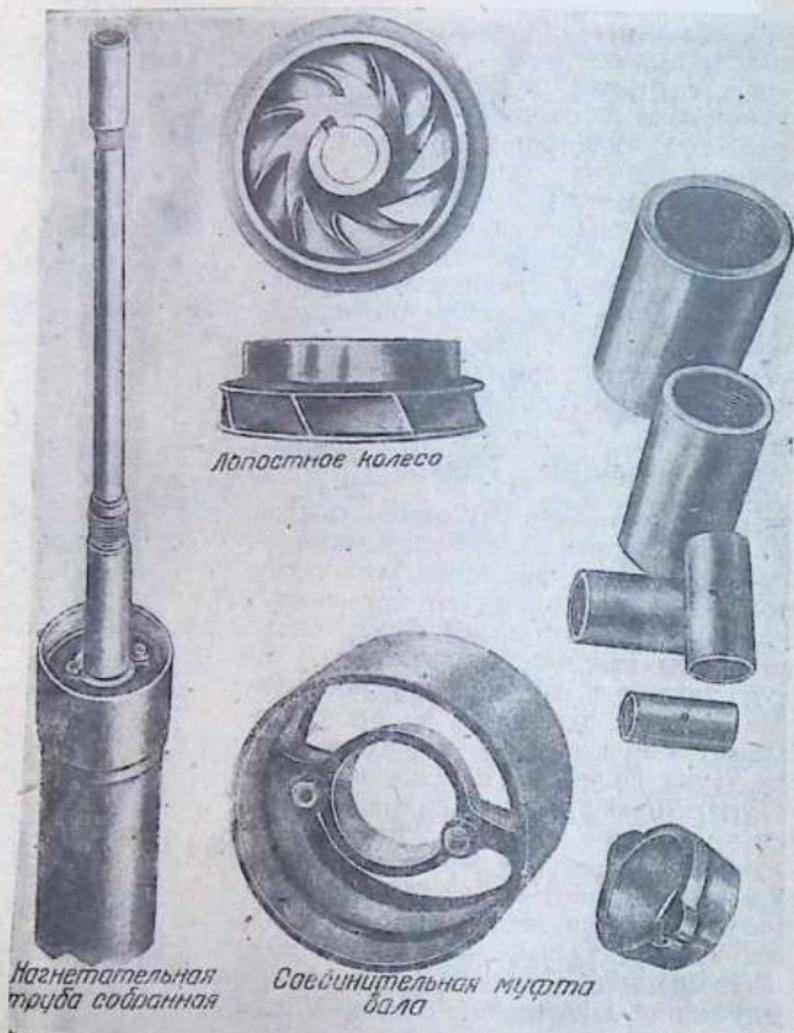


Рис. 37. Части турбинного насоса для глубоких колодцев (в разобранном виде).

тив, турбинные насосы приходится целиком вынимать для смены цилиндра в зависимости от повышения или понижения уровня воды. С винтовыми насосами, как и с турбинными, часто продолжают работать тогда, когда они уже требуют ремонта. Они также не требуют заполнения водой, так как рабочие части погружены в источник воды. Как общее правило, винтовые на-

сосы при одном и том же внешнем диаметре доставляют больше воды, чем турбинные насосы для глубоких колодцев».

Один из образцов турбинных насосов, широко применяемых для орошения, представлен на рис. 39. Этот насос назван изготовителями его насосом прямого тока; этим обозначают,

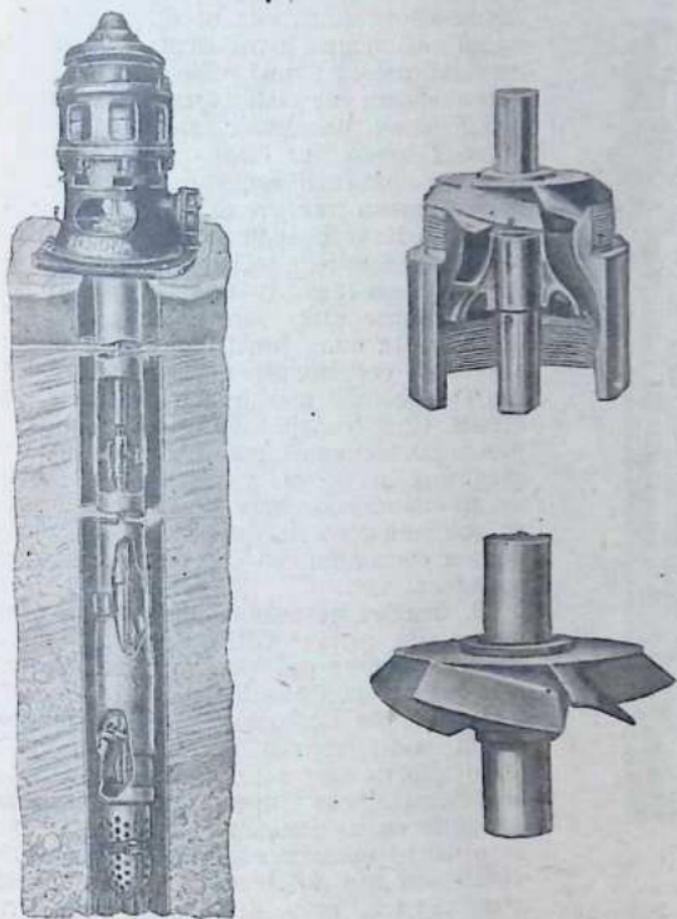


Рис. 38. Разрез турбинного насоса и мотора Помона и детали цилиндра и колеса, укрепленного на валу.

что ток в основном направлен параллельно валу, или, как выражаются гидрологи, это тип осевого тока. Внутри нагнетательного цилиндра над каждым набором колес помещаются выпрямляющие лопасти, функция которых заключается в том, чтобы дать току осевое направление.

**57. Поршневые насосы.** Скользящий поршень, плотно прижатый в воздухонепроницаемой камере, с автоматическими

клапанами для управления всасыванием и нагнетанием воды составляют основные части насосов поршневого типа. Производительность каждого поршня определяется размером камеры, числом движений поршня в единицу времени и действием насоса — простым или двойным. В засушливых районах поршневые насосы применяются для орошения только в таких местностях, где необходимы и доступны лишь небольшие количества воды, высота же подъема значительна. Во влажных районах поршневыми насосами часто пользуются при дождевании плодовых садов и небольших огородных хозяйств. Эти насосы обычно приводятся в действие электрическими или газогенераторными двигателями. Недавнее обследование в Нью-Джерси показало, что при средней производительности поршневого насоса в 85 галлонов (326 л) в минуту применяются газогенераторные двигатели примерно в 6½ лошадиных сил. Когда поршни и клапаны в хорошем состоянии, поршневые насосы обладают высоким коэффициентом полезного действия. При употреблении поршневых насосов для воды, содержащей значительные количества ила и песка, движущиеся части насоса легко снашиваются, поэтому необходимо время от времени их осматривать и содержать в хорошем состоянии во избежание низкой производительности.

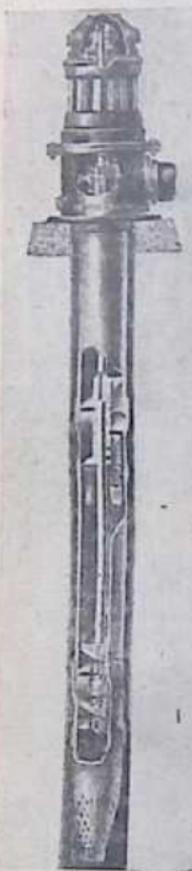


Рис. 39. Разрез насоса прямого тока для глубоких колодцев, показывающий вал и колеса.

**58. Водные источники для механического орошения.** На западе США основным источником для небольших оросительных насосных установок служат подземные воды. Методы бурения и подготовки колодцев для добывания грунтовой воды кратко рассматриваются ниже.

Во многих местностях стоимость проведения воды к хозяйству превышает стоимость накачивания ее из близкого источника. В результате часто применяются небольшие насосные установки для добывания воды из рек, каналов, прудов, озер и других поверхностных источников. Приведем один заслуживающий внимания случай. Более 50 фермеров в долине Каш, которая лежит в северной части штата Юта и в южной части штата Айдаго,

получают воду накачиванием из Медвежьей реки (Bear River). При использовании вод Медвежьей реки электрическая компания, которой принадлежат насосы, соорудила большую насосную установку на месте истока Медвежьей реки из Медвежьего озера (Bear Lake) и использует последнее в качестве водохранилища для уравнивания расхода воды в реке, служащей источником энергии. После выкачивания из Медвежьего озера запас-

ная вода смешивается с естественным расходом Медвежьей реки и обслуживает вдоль реки три силовых установки, еще не доходя до долины Кань. Накаченная вода, не потребленная при орошении, возвращается в реку и используется для выработки энергии на установках несколько ниже долины Кань. Из культурных растений, орошаемых механическим путем, основными являются ячмерна, сахарная свекла и зерновые — пшеница, овес и ячмень.

**59. Грунтовые воды.** Грунтовые воды являются очень важным источником для механического орошения. Накачивание воды из колодцев для орошения довольно широко применяется в более древних странах, как, например, в Египте и в Индии. До некоторой степени накачивание из колодцев практикуется почти во всех засушливых западных штатах Северной Америки. Согласно переписи в США в 1930 г., штат Аризона орошает почти 42525 га, а штат Калифорния — почти 600 000 га грунтовой водой, добываемой накачиванием из колодцев.

В былое время многие фермеры неправильно думали, что источники подземных вод неиссякаемы. В практике орошения очень важно избегать чрезмерного расширения поливных площадей, так как это может привести к тому, что в периоды недостаточных осадков воды нехватит. Особенно необходима такая осторожность при использовании для орошения грунтовых вод. Чрезмерное снижение уровня грунтовых вод приводит к необходимости поднимать их на большую высоту, что в свою очередь чрезмерно увеличивает затраты на накачивание. Мало того, в случаях чрезмерного накачивания, при применении насосов с горизонтальным валом, работа которых зависит от высоты всасывания, иногда бывает необходимо углубить насосную выемку и связать насос для того, чтобы получить достаточное количество воды. Поэтому размеры орошения, основанного на выкачивании запасов грунтовых вод, должны быть установлены лишь после длительного изучения количества годового дебита и возобновления подземных рек, бассейнов или резервуаров.

**60. Колодцы.** Для сравнительно небольших количеств оросительной воды колодцы иногда выкапываются вручную и облицовываются деревом, бетоном, кирпичом или камнем, но обычно колодцы для целей орошения бурятся механическими методами, применяя газолиновые двигатели или другие переносные источники энергии. Мэрдок (Murdock) различает следующие методы бурения колодцев: а) методы ударного действия и б) методы вращательного бурения. По первому методу бурение осуществляется орудиями, двигающимися вверх и вниз, тогда как по второму колодец бурвится орудиями, вращающимися подобно обычному почвенному буру. Механические методы бурения обладают тем преимуществом, что допускают производство бурения под водой, тогда как при ручной колке колодцев необходимо в некоторых случаях иметь специальные приспособления для удаления воды из колодца по мере углубления. Механические методы имеют особое значение там, где для добытия достаточного количества воды необходимо выкапывать колодцы большой глубины. Буровые оросительные колодцы, как

Правило, колеблются в диаметре в пределах от 6 до 40" (от 15 до 100 см). Эти колодцы изнутри облицовываются листовым железом, толщина которого увеличивается с увеличением диаметра колодца. В случае применения насоса с горизонтальным валом необходимо выкопать выемку достаточной глубины, чтобы поместить насос на расстоянии от уровня воды не выше предела насасывающей силы насоса. Комбинация бурового колодца с насосной выемкой, обслуживающая Аризонский университет, представлена на рис. 40. Во время накачивания вода втекает в колодец через отверстия в облицовке; обычно отверстия прорезаются в облицовке после ее установки в колодце. При продырявливании облицовки нужно соблюдать большую осторожность, чтобы не обрушить труб. До сих пор как будто не имеется единого мнения у инженеров по поводу соотношения общего поперечного сечения отверстий и поперечного сечения облицовки колодца, хотя все согласны с тем, что необходимо достаточное количество отверстий для предотвращения потерь энергии при протекании воды в колодец. Швален (Schwalen) собрал образцы облицовок из различных колодцев Аризоны с достаточными, посредственными и недостаточными отверстиями. Образцы эти представлены на рис. 41.

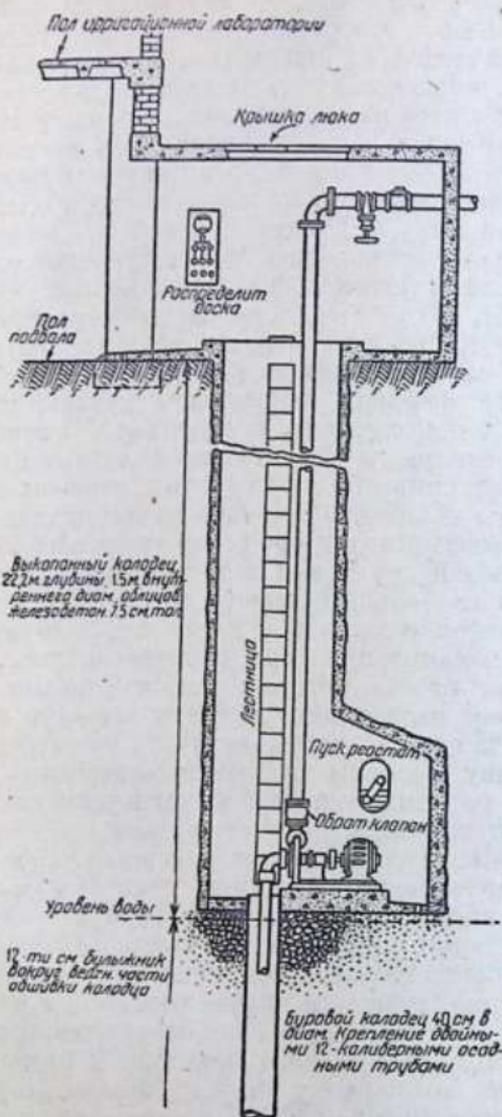


Рис. 40. Насосная установка, прямого соединения с мотором в выемке, комбинированной с буровым колодцем (из University of Arizona Agr. Exp. Sta. Bull. 99).

энергии при протекании воды в колодец. Швален (Schwalen) собрал образцы облицовок из различных колодцев Аризоны с достаточными, посредственными и недостаточными отверстиями. Образцы эти представлены на рис. 41.

**61. Подача воды колодцами.** Размер струи воды, добываемой для орошения из колодца при помощи насоса, определяется одним из двух приведенных ниже основных факторов или обоими одновременно:

а) производительностью насоса и мощностью двигателя или мотора и

б) дебитом колодца, зависящим от уклона водной поверхности касательной к кривой депрессии, от глубины и производительного диаметра колодца и от удельной водопродности водоносного слоя.

Производительность насоса и потребность в мощности для подъема определенных количеств воды на заданные высоты могут быть вычислены заранее с довольно большой точностью. Гораздо труднее предсказать мощность, потребную для того, чтобы подвести достаточное количество воды из водоносных песков или гравия в колодец, ввиду того, что это связано с неопределенной водопродностью песков и гравия (см. гл. X), через которые просачивается вода. Примерная кривая депрессии представлена на рис. 42.

В условиях более или менее однородных водоносных песков и гравия вода обычно течет радиально по направлению к колодцу. В таких условиях она движется через серию воображаемых концентрических цилиндрических поверхностей, имеющих колодец в качестве вертикальной оси. Ясно, что для постоянства вододачи скорость тока воды должна увеличиваться по мере приближения к колодцу, так как поперечное сечение, через которое она проходит, непрерывно уменьшается. Следовательно, движущая сила на единицу массы воды должна увеличиваться с приближением к колодцу, а так как уклон водяной поверхности пропорционален движущей силе,

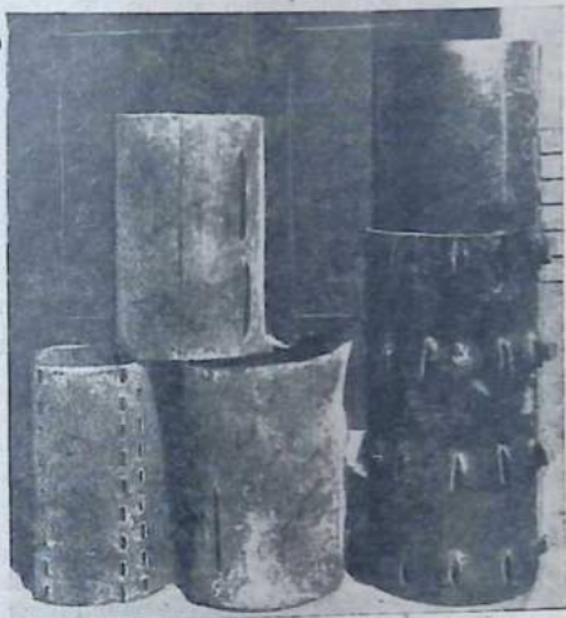


Рис. 41. Образцы продырявленных облицовок, в которых отверстия сделаны после установки в колодце. Справа представлен образец, вполне удовлетворительно продырявленный, слева — посредственно, а в середине — недостаточно продырявленный (из Univ. of Arizona Agr. Exp. Sta. Bull. 112).

кривая депрессии становится все более крутой по мере приближения к колодезю. В случаях, когда пропускная способность насоса превышает дебит колодца, понижение уровня чрезмерно велико около самого колодца. Поэтому желательно, в целях избежания чрезмерного понижения уровня (или потребности в энергии) для поступления воды в колодец, обеспечить большой «производительный» диаметр колодца.

**62. Подготовка колодца.** Удельная водопроницаемость почв, песков и гравия быстро увеличивается с увеличением диаметра частиц, как будет видно из гл. X. Поэтому для успешной работы колодца существенно удалить мелкие частицы из окру-

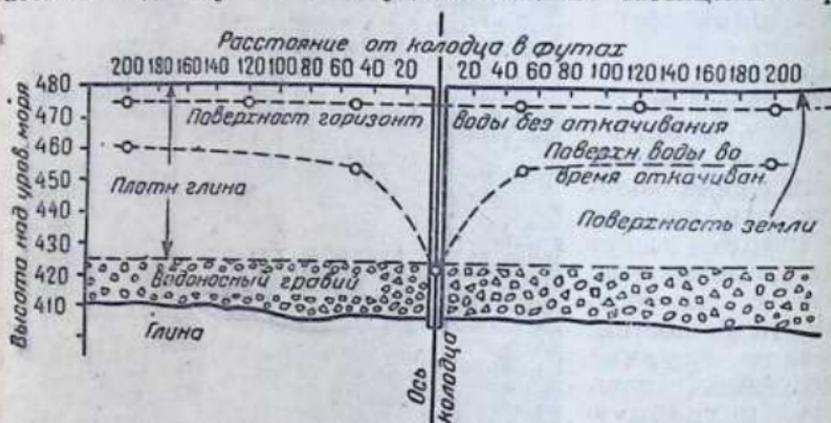


Рис. 42. Схематический чертеж кривой депрессии по время откачки воды из колодца.

жающей его почвы путем втягивания их в колодец и последующего вынесения на поверхность выкачиванием или черпаком. Процесс удаления иловатых частиц, песка и мелкого гравия для облегчения притока воды в колодец носит название подготовки колодца (developing the well). Большинство опытных бурильщиков вполне сознает важность этой работы, и некоторые из них выработали весьма остроумные методы вымывания частиц при помощи воды и сжатого воздуха. Один из методов заключается в том, что черпак быстро подымается и окунается непосредственно вдоль продырявленной обшивки колодца, втягивая, таким образом, в колодец воду вместе с частицами; другой состоит в том, что варьруют водоподачу насоса или путем изменений скорости накачивания или путем регулирования клапанов, чтобы вызвать пульсацию тока воды. Подготовка колодца чрезвычайно важна, и ею никогда не следует пренебрегать. В некоторых случаях соответствующая подготовка при одном и том же насыщении может удвоить или даже утроить водоподачу колодца.

**63. Батареи колодцев.** В местностях, где удельная водопроницаемость водоносных слоев низка, бывает иногда выгодно накачивать воду одним насосом из двух или более колодцев. Этот прием иллюстрируется на рис. 43, где представлен насос

с горизонтальным валом, накачивающий воду из трех колодцев одновременно. Найти наиболее подходящие расстояния для размещения колодцев при использовании их одним насосом представляет задачу специальных исследований.

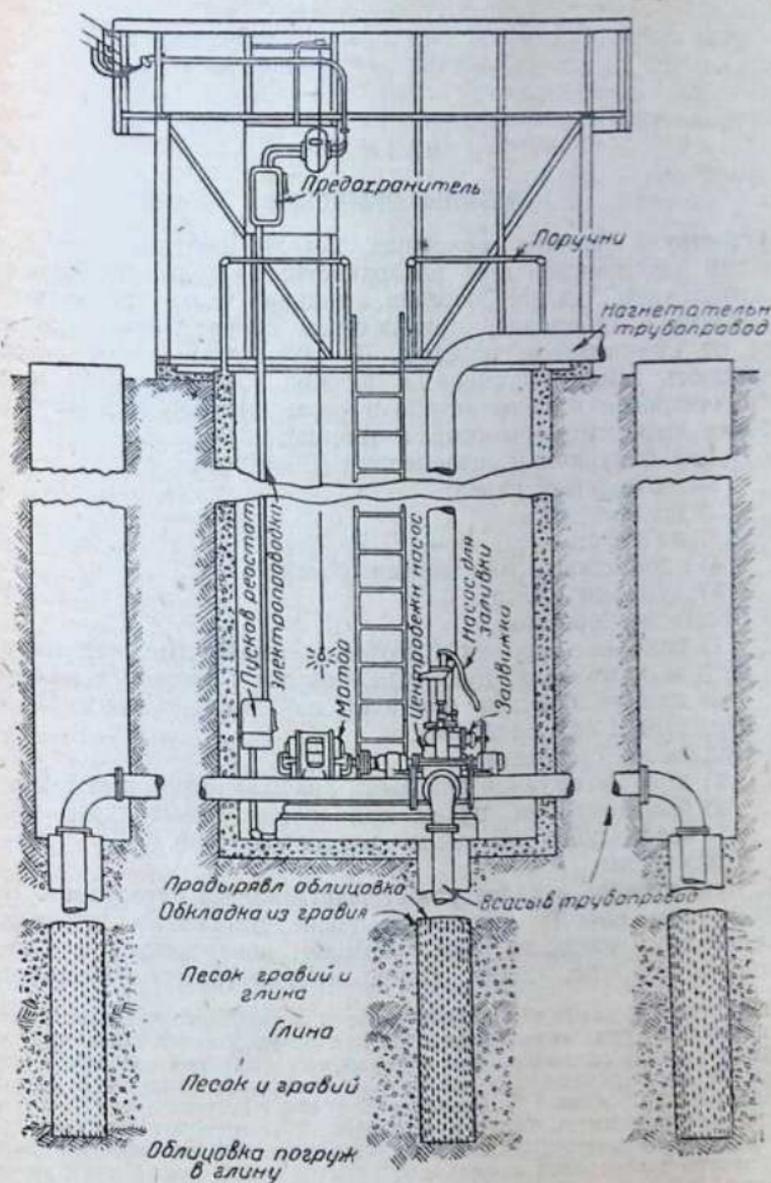


Рис. 43. Горизонтальный центробежный насос, непосредственно соединенный с электрическим мотором в выемке и накачивающий из трех колодцев одновременно (из Col. Agr. Exp. Sta. Bull. 350).

## ГЛАВА V

### МЕТОДЫ ОРОШЕНИЯ

Существует четыре основных метода полива, а именно: а) полив затоплением всей поверхности; б) полив по бороздам, с затоплением, таким образом, только части поверхности; в) подземное орошение, при котором поверхность мало или вовсе не смачивается, наконец, г) дождевание, при котором поверхность земли смачивается подобно тому, как при дожде. Эти основные методы можно в свою очередь подразделить на более дифференцированные, а именно:

а) Полив напуском и затоплением (flooding)<sup>1</sup>:

- 1) из полевых канав;
- 2) по полосам;
- 3) из труб;
- 4) площадками или чеками (check);
- 5) лунками (basin).

б) Полив по бороздам:

- 1) глубокие борозды (furrows), применяемые, например, в поливе картофеля, кукурузы, спаржи и плодовых деревьев;
- 2) мелкие борозды (corrugations) для зерновых злаков, люцерны и сахарной свеклы.

в) Подземное орошение:

- 1) контролируемое боковыми снабжающими канавами;
- 2) без контроля, путем применения избыточного количества воды для возвышенных участков.

г) Дождевание.

**64. Прimitивное и более усовершенствованное затопление.** При первобытном способе орошения, господствовавшем несколько столетий тому назад на всем Азиатском континенте и в южной Европе и Африке, полив обычно производился, повидимому,

<sup>1</sup> В настоящей книге нет полной ясности в терминологии общих методов полива. Группа «а» объединяется общим названием «flooding», что в точном смысле слова означает затопление. Между тем под этим общим названием подразумеваются как методы напуска (группа «а», 1—3), так и затопления (группа «а», 4, 5). Согласно Костякову («Основы мелиорации»), методы затопления и напуска в основном отличаются тем, что при первом способе вода быстрее передвигается, чем всасывается, и поэтому полив фактически происходит стоячей водой, тогда как при втором способе передвижение и всасывание происходит одновременно, так что полив производится движущейся водой. Затопление большей частью в настоящей книге передается словом «flooding», но иногда применяется и термин «ponding».

путем затопления обширных довольно ровных площадей. Метод затопления был в частности общепотребителен в Египте, где паводковая вода отводилась на поля и распределялась на больших площадях.

В современной практике орошения в Америке разработано несколько усовершенствованных методов орошения напуском и затоплением, а именно: метод обычного напуска при помощи полевых канав, напуск по полосам, распределение воды трубами, орошение площадками и лунками. Краткое описание каждого из этих методов приводится дальше.

Примитивные методы затопления обширных пространств, сравнительно низко расположенных и ровных земель до сих пор применяются в крупных скотоводческих хозяйствах западных штатов. Тысячи акров пастбищных земель в некоторых частях долины Сан-Хоакин в Калифорнии орошаются затоплением в течение периодов половодья при помощи лишь грубо сооруженных валов и канав. При этих примитивных методах затопления значительных площадей почти не уделяется внимания продуктивности в использовании воды. Этот тип орошения иногда называется «диким затоплением».

**65. Обыкновенный полив напуском из полевых канав.** Когда полив производится из полевых канав или арыков, без каких бы то ни было валиков для направления тока или вообще для регулирования движения воды, метод этот называется обыкновенным напуском. Он широко применяется в штатах Скалистых гор, особенно в местах с относительным обилием поливных вод.

Цель всех обычных методов орошения заключается в том, чтобы запасти за каждый полив такое количество воды в почве, которое обеспечило бы нужды растений до следующего полива. Число дней между поливами зависит поэтому, главным образом, от влагоемкости почвы и от скорости потребления воды растениями. Последние два момента рассматриваются в гл. гл. IX и XIII. Важно здесь отметить, что при некоторых методах орошения напуском, а именно при обычном напуске по полосам и при напуске через трубы, почва насыщается водой, проникающей вглубь на несколько десятков сантиметров в течение того времени, когда вода протекает по поверхности земли. Если вода протекает по поверхности земли слишком быстро, то в почву просочится недостаточное количество ее. С другой стороны, если вода задержится на поверхности слишком долго, часть ее может быть потеряна вследствие просачивания в глубокую подпочву, гравий и грунтовые воды. Понятно поэтому, что правильная организация полива напуском для достижения высокой эффективности является очень важной и в то же время трудной задачей. Величина поливной струи, глубина ее во время течения по поверхности и проницаемость почвы — все это влияет на водный баланс. Более детально это будет рассмотрено в § 68.

При обыкновенном напуске многое зависит от выравнивания поверхности поля, соответствующей величины поливной струи, внимания и ловкости поливальщика, но и при лучших условиях

трудно этим методом достигнуть высокой продуктивности орошения.

Рассматриваемый метод широко применяется для орошения зерновых и кормовых растений в штатах Скалистых гор. Вода подводится и распределяется по полю канавами, проведенными поперек поля, как видно на рис. 44, или из параллельных канав, проведенных вниз по наиболее крутому склону, как показано на рис. 45.

Распределительные каналы поперек поля располагаются на расстояниях от 15 до 45 м друг от друга в зависимости от уклона местности, механического состава и глубины почвы, величины струи и от возделываемых растений. Подобным же образом определяются расстояния между проводящими воду арыками вдоль наиболее крутых склонов.

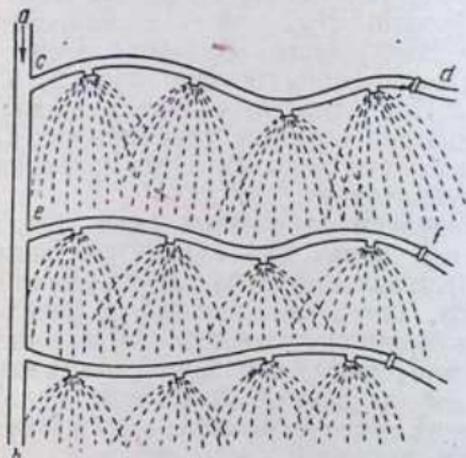


Рис. 44. Обычный метод расположения полевых канав в штатах Скалистых гор (на U. S. Dept. Agr. Farmers' Bull. 1630).

Полив напуском из полевых канав производится на таких землях, на которых, вследствие их неровной поверхности, непригодны другие методы напуска или затопления. Однако ирригаторы, благодаря низкой стоимости подготовки земли для полива этим методом, применяют его и на других землях, где можно с успехом применять и другие методы. Весьма вероятно, что до-

полнительные затраты на рабочую силу при поливе и большие потери воды, вследствие стока с поверхности и просачивания вглубь, превысят кажущиеся выгоды от уменьшения расходов по подготовке земель.

**66. Полив напуском по полосам.** При поливе напуском по полосам поле разбивается на ряд полос, желательны не более 9—18 м шириной и 100—400 м длиной, разделенных небольшими земляными валиками. Вода поступает на эти полосы из выводной борозды и медленно продвигается по ним к нижнему концу, смачивая почву по пути. Пример применения напуска по полосам в довольно пересеченной местности приведен на рис. 46b.

Рис. 46a изображает участок № 74 фермы государственной Дургамской колонии в штате Калифорния до его подготовки для полива. Горизонталь указывает, что наибольшие высоты отмечаются на северной окраине в западной половине участка. Подготавливая участок для полива напуском по полосам, мелю-

раторы разделили его на три поля, как видно на рис. 46b. Полосы в каждом поле намечены по 12 м шириной. Длина полос в западных полях составляет 141 м каждая; в восточных полях, вследствие неравномерного расположения водосборных каналов, полосы варьируют по длине примерно от 45 до 150 м. При орошении двух западных полей вода течет с севера на юг, а на восточных полях она течет в двух направлениях, как указано расположением валиков и стрелками.

Между валиками поверхность должна быть ровная, так, чтобы движущаяся вода покрывала полосу тонким слоем во всю ширину; но вдоль валиков поверхность может иметь уклоны в соответствии с естественными уклонами участка. Желательно, хотя и не обязательно, чтобы уклон был однообразным в пределах каждой полосы.

Напуск по полосам допускает значительные колебания уклона в направлении тока воды. Лучше всего придавать полосе уклон от 0,002 до 0,004, но, если это практически невыполнимо, можно пользоваться и меньшими уклонами до 0,001 и большими до 0,022. При более крутых уклонах следует особенно остерегаться размыва почвы.

Величина струи, направляемой на каждую полосу, может колебаться от 15 до 300 л в секунду в зависимости от почвы,

величины валиков и орошаемых растений. Влияние проницаемости почвы и размера валиков рассматривается дальше.

Вследствие высокой первоначальной стоимости подготовки земель для полива напуском по полосам желательно планировать расположение валиков и полос таким образом, чтобы иметь возможность орошать различные зерновые и кормовые растения с теми же валиками в течение нескольких лет. Культурные растения, требующие полива по бороздам, как, например, сахарная свекла, картофель и кукуруза, можно выращивать на землях, на которых кормовые растения предварительно орошались методом полос. В случае, когда почвенные условия благоприятны для горизонтального бокового передвижения воды, удобно пользоваться низкими широкими валиками, засеваемыми культурными растениями, но проводить на валиках борозды для поливной воды трудно.

Метод полива полосами пригоден для почв, весьма разнообразных по своему механическому составу. Тем не менее еще до подготовки земель для полива важно предварительно изучить физические свойства почвы. Плотные суглинки на сравнительно мало проницаемых подпочвах допускают применение длинных

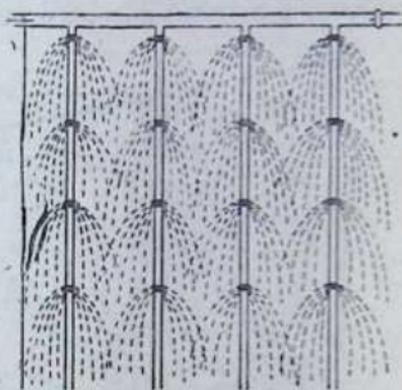


Рис. 45. Полив напуском из параллельных полевых канав (из U. S. Dept. Agr. Farmers' Bull. 1630).

полос, тогда как легкие почвы с пористой хрящеватой подпочвой требуют коротких, узких полос.

На верхнем конце каждой полосы в ороситель помещается шлюзик для выпуска воды. Дешевый риджер для образования и оформления валиков для полива по полосам, применяемый в долине Змеиной реки (Снейк Ривер) в штате Айдаго, представлен на рис. 47. Свежеизготовленные валики на ферме Гувер близ Васко в штате Калифорния представлены на рис. 48.

**67. Скорость полива.** Производя полив напуском, ирригатор ставит себе задачей заставить воду просочиться в почву и смочить ее на соответствующую глубину за тот промежуток времени, в течение которого водный поток идет по поверхности.

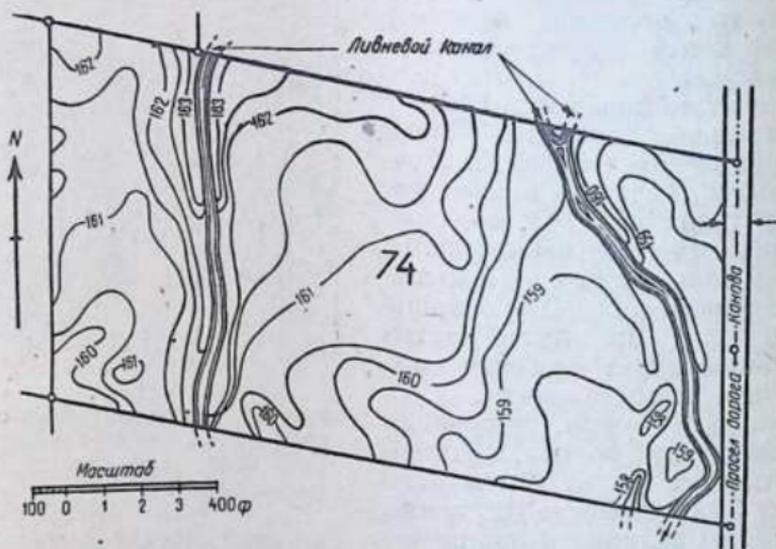


Рис. 46а. План участка № 74 Дургамской колонии с нанесением горизонталей (рисунки 46а—49 включительно взяты из U. S. Dept. Agr. Farmers' Bull. 1243).

Ту же задачу преследует ирригатор и при поливе по бороздам, особенно в случае применения мелких борозд. Задержка воды на поверхности почвы для обеспечения соответствующего просачивания при поливе напуском или по бороздам, как правило, неприменима. Поэтому желательно, чтобы величина поливной струи, задаваемой на единицу площади, изменялась бы в зависимости от проницаемости почвы для воды (определение проницаемости почвы см. в гл. X).

Когда на единицу площади с низкой проницаемостью задается большая струя, то происходит избыточный сток с поверхности; с другой стороны, применение малой струи на сильно проницаемых почвах обуславливает большие потери воды через избыточное просачивание вглубь. Соотношение между величиной струи, площадью земли, орошаемой данной струей, и скоростью полива может быть выражено простым уравнением.

Пусть  $A_r$  — площадь в акрах, орошенная за один проход воды по полосе или по чеку,  
 $q$  — количество воды в куб. фут/сек или в акро-дюймах в час, заданное одной полосе или чеку,  
 $R$  — скорость полива в куб. фут/сек на акр, вычисленная на основании площади, политой за один проход ( $A_r$ ).

Скорость полива есть отношение  $q$  к  $A_r$ , т. е.

$$R = q/A_r.$$

Изучение отношения  $R$  к средней глубине воды ( $d$ ), необходимой для покрытия площади полосы в 1 акр, проведенное в долине

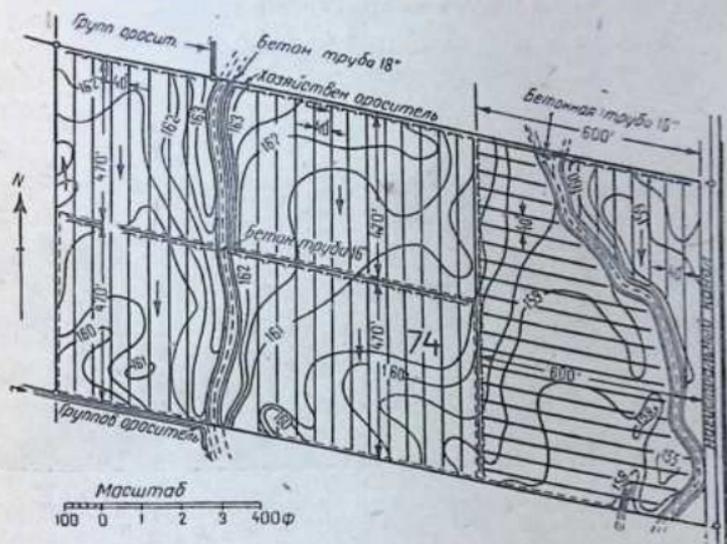


Рис. 46б. Размеры и направление полос, оросителей и распределителей на том же участке № 74.

Сакраменто в штате Калифорния, имеющей уклон в 0,003, показало, что с увеличением скорости полива необходимая глубина уменьшается. Результаты измерений приведены ниже.

| Скорость полива | Необходимая глубина в дюймах |
|-----------------|------------------------------|
| 4,6             | 33,0                         |
| 10,1            | 22,3                         |
| 13,5            | 13,9                         |
| 15,3            | 10,1                         |
| 17,8            | 8,3                          |

**68. Анализ времени, необходимого для покрытия водой данной площади.** Рассмотрим тот случай, когда окаймленная валиками полоса или другой участок, орошаемый напуском, покрыт тонким слоем воды. При условии более или менее равномерной проницаемости на всех точках участка, слой воды быстро про-

двигается вперед сейчас же после его поступления на данный участок. Вскоре после поступления воды на участок, часть струи потребляется на просачивание в почву, и, таким образом, количество воды продвигающейся на сухой участок, будет постепенно уменьшаться. Если известны величина поливной струи, средняя глубина слоя воды на поверхности участка и проницаемость почвы и если они постоянны, возможно предсказать путем математического анализа примерное время, необходимое для покрытия данной площади.

Читатель, знакомый с расчетами, легко поймет следующий анализ, предложенный Паркером (Parker). Другие могут пока воспользоваться готовым уравнением (31), не вдаваясь в ход рассуждений, приводящих к его установлению.



Рис. 47. Поделка валиков для орошения методом напуска по полосам близ Твин-Фоллс в штате Айдаго.

Пусть  $A$  — площадь в акрах, залитая водой в любое время ( $t$ ), после того как вода была направлена на полосу, как показано на рис. 49,

$p$  — скорость, с которой вода просачивается в почву смоченной площади, в акро-дюймах на акр в час, или просто в дюймах в час,

$q$  — количество воды в акро-дюймах в час (куб. фут/сек), направленное на полосу,

$t$  — время в часах от момента направления воды на полосу,

$y$  — средняя глубина воды в дюймах во время ее течения по полосе.

Объем воды, протекающей по полосе за любой данный промежуток времени, скажем, за 1 минуту, распределяется в двух направлениях:

1) часть протекает дальше по полосе и покрывает дальнейшую сухую поверхность;

2) часть просачивается вглубь.

Объем воды, протекающей по полосе в течение  $dt$  секунд, равен  $q dt$ . Объем протекающей воды после любой точки для смачивания дальнейшей части участка равен  $y dA$ . Объем просачивающейся в почву воды в течение промежутка времени  $dt$  равен  $pA dt$ . Поэтому, поскольку в течение времени  $dt$  вода продвигается на площадь  $dA$  и также просачивается в почву на площади  $A$  со скоростью  $p$ , очевидно, что

$$q dt = y dA + pA dt \quad (29)$$

и что

$$dt = \frac{y dA}{q - pA} \quad (30)$$

Интегрируя уравнение (30), решая и исключая константу интегрирования и переводя натуральные логарифмы в обыкновенную



Рис. 48. Свеже-приготовленные валки на ферме Гувер близ Васко в Калифорнии.

систему логарифмов, получаем, при условии, что  $y$  и  $p$  считаются константными:

$$t = 2,303 \frac{y}{p} \log \frac{q}{q - pA} \quad (31)$$

Скорость просачивания ( $p$ ) не строго константна. Она несколько колеблется во времени в данном месте поля и варьирует в данное время в зависимости от места. Также может слегка варьировать  $p$  в связи с изменениями глубины ( $y$ ); но колебания, обусловленные последней причиной, вероятно, не имеют значения.

Для иллюстрации применения уравнения (31), считая  $p$  и  $y$  константными, приведем цифровой пример.

Пусть

$$A = 0,5; \quad p = 2,0; \quad q = 1,5; \quad y = 2,5;$$

тогда

$$t = 2,303 \times 2,5/2,0 \times \log 1,5/(1,5 - 2,0 \times 0,5) = 1,37 \text{ час.}$$

Если бы площадь была увеличена до 0,7 акра, при постоянстве всех остальных факторов, потребовалось бы почти 3,4 часа для того, чтобы залить полосу, и за это время средняя глубина заданной воды составила бы 7,2". Для площади больше 0,7 акра время и необходимая глубина быстро возрастают, и максимальная площадь, которая могла бы быть залита при вышеозначенных условиях, равняется 0,75 акра. До настоящего времени мы располагаем лишь скудными экспериментальными данными для вычисления скорости и степени колебания  $p$  и  $y$  в зависимости от времени. Пока на опыте не будет получено дальнейших данных для проверки уравнения (31), оно является ценным лишь для наметки тенденции изменений во времени при заливании

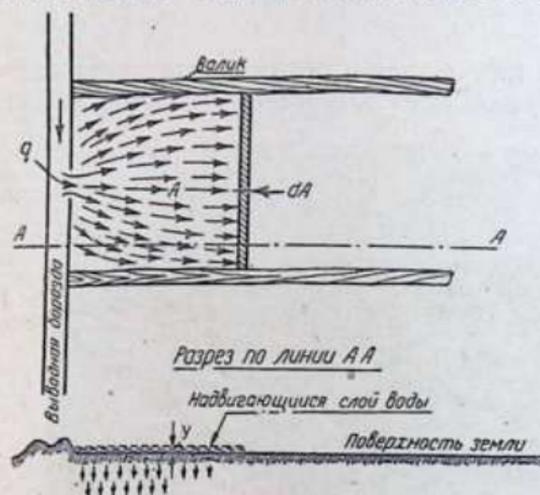


Рис. 49. Схема полива напуском полосы, показывающая движение воды на очень малом участке  $dA$  за короткое время  $dt$ , а также и просачивание воды вглубь в верхней части полосы.

различных площадей. В настоящем его виде нельзя еще вполне полагаться на него для получения точных результатов, особенно в связи с тем, что величины  $y$  и  $p$ , которые приняты нами в предшествующем анализе за константы, в действительности варьируют во время полива.

**69. Опыты по определению времени покрытия водой различных площадей.** Фортъе указывает в своем отчете на ценные опыты, проведенные Барком (Barck) в долине Змеиной реки. В первом опыте полоса клевер-

рища в 49,5 футов ширины и 2359 футов длины была разделена на 7 участков по 337 футов длины каждый, т. е. площадью каждый в 0,383 акра. Струя воды в 2,28 куб. фута в секунду была направлена на полосу с верхнего конца на 23,7 часа с тем, чтобы покрыть водой всю площадь в 2,684 акра. Время, необходимое для достижения водою нижнего конца каждого из 7 участков, показано в таблице 4 (а). Цифры 2-го столбца таблицы показывают длину полосы, а 3-го столбца — площадь земли, залитой струей в 2,28 куб. фута в секунду в течение соответствующих периодов времени, отмеченных в 5-м столбце. Из таблицы видно, что скорость полива уменьшается (от 5,8 до 0,8) по мере увеличения залитой площади (от 0,383 до 2,684 акра) и что уменьшение скорости полива требует увеличения средней глубины поливной воды (от 8,1 до 20,2"). Результаты, указанные в таблице, заставляют думать, что скорость полива свыше 5,8 была бы более подходящей для данных усло-

вий, так как глубина в 8" представляет довольно высокую норму для одного полива. Несомненно, что из полива глубиной в 20,2" три четверти или более пропало путем просачивания.

ТАБЛИЦА 4

ВРЕМЯ И ГЛУБИНА ВОДЫ, НЕОБХОДИМЫЕ ДЛЯ ПОЛИВА ДВУХ ПОЛОС ЗЕМЛИ БЛИЗ РИГБИ В ШТАТЕ АЙДАГО, ПРИ РАЗЛИЧНОЙ СКОРОСТИ ПОДАЧИ ВОДЫ

| 1                                 | 2                            | 3                              | 4                   | 5                                    | 6   |
|-----------------------------------|------------------------------|--------------------------------|---------------------|--------------------------------------|---|
| № участков, залитых за один прием | Длина залитой полосы в футах | Площадь залитой полосы в акрах | Скорость полива г/А | Необходимое время для полива в часах | Глубина воды, необходимая для покрытия полосы, в дюймах |
| 1                                 | 337                          | 0,383                          | 5,8                 | 1,37                                 | 8,1   |
| 2                                 | 674                          | 0,767                          | 2,9                 | 3,20                                 | 9,5   |
| 3                                 | 1 011                        | 1,150                          | 1,9                 | 5,20                                 | 10,3  |
| 4                                 | 1 348                        | 1,534                          | 1,5                 | 7,70                                 | 11,4  |
| 5                                 | 1 685                        | 1,917                          | 1,2                 | 10,70                                | 12,7  |
| 6                                 | 2 020                        | 2,300                          | 1,0                 | 16,70                                | 16,5  |
| 7                                 | 2 359                        | 2,684                          | 0,8                 | 23,70                                | 20,2  |

*а) Клеверное поле*

|   |       |       |     |       |      |
|---|-------|-------|-----|-------|------|
| 1 | 337   | 0,383 | 5,8 | 1,37  | 8,1  |
| 2 | 674   | 0,767 | 2,9 | 3,20  | 9,5  |
| 3 | 1 011 | 1,150 | 1,9 | 5,20  | 10,3 |
| 4 | 1 348 | 1,534 | 1,5 | 7,70  | 11,4 |
| 5 | 1 685 | 1,917 | 1,2 | 10,70 | 12,7 |
| 6 | 2 020 | 2,300 | 1,0 | 16,70 | 16,5 |
| 7 | 2 359 | 2,684 | 0,8 | 23,70 | 20,2 |

*б) Люцерновое поле*

|   |       |      |      |       |      |
|---|-------|------|------|-------|------|
| 1 | 327   | 0,70 | 10,0 | 0,75  | 7,4  |
| 2 | 654   | 1,41 | 5,0  | 1,66  | 8,2  |
| 3 | 980   | 2,13 | 3,3  | 2,83  | 9,2  |
| 4 | 1 307 | 2,88 | 2,4  | 4,25  | 10,2 |
| 5 | 1 634 | 3,63 | 1,9  | 6,25  | 11,9 |
| 6 | 1 960 | 4,39 | 1,6  | 8,25  | 13,0 |
| 7 | 2 287 | 5,17 | 1,4  | 10,50 | 13,9 |
| 8 | 2 566 | 5,72 | 1,2  | 13,25 | 16,0 |

Второй опыт напуска по полосам проводился Барком с люцерной также близ Ригби. Полоса имела 92 фута (27,6 м) ширины и 2566 футов (770 м) длины. Она также была разделена на 7 участков примерно по 327 футов (98 м) длины, и лишь последний участок был несколько короче, примерно 280 футов (84 м) длины. На участок была направлена постоянная струя воды примерно в 7 куб. фут. в секунду до тех пор, пока он не был вполне орошен. Результаты этого опыта представлены в таблице 4 во второй ее части (б). Если бы эта длинная полоса была разделена двумя дополнительными поперечными оросителями на 3 полосы по 855 футов каждая, она вероятно могла бы быть орошена полностью менее чем в половину фактически затраченного времени. Глубина полива в 7,4", примененная в верхнем участке, несомненно была чрезмерной.

Применяя лизиметр 180 см глубины с приспособлением для сбора просачивающейся сквозь почву воды, Барк нашел, что более  $\frac{4}{5}$  воды из заданных в течение оросительного сезона 6,6 фута (198 см) было потеряно путем просачивания вглубь. В следующем году он нашел, что при 10 легких поливах в лизиметрах получился урожай свыше 17,3 т на га. Общая глубина

Заданной воды равнялась 18" (45 см) при средней глубине одного полива в 1,8" (4,5 см).

Соотношение времени полива и средней глубины воды, заданной для орошения за один прием, дано в таблице 4 и графически представлено на рис. 50. Теоретически потребные время и глубина, вычисленные на основании уравнения (31), при некотором принятом значении величин  $p$  и  $y$ , также представлены на рис. 50. Соотношение в расположении теоретической и экспериментальной кривых заставляет предполагать, что  $p$  уменьшается по мере увеличения времени. Экспериментальные наблюдения над проницаемостью, приведенные в гл. X, также

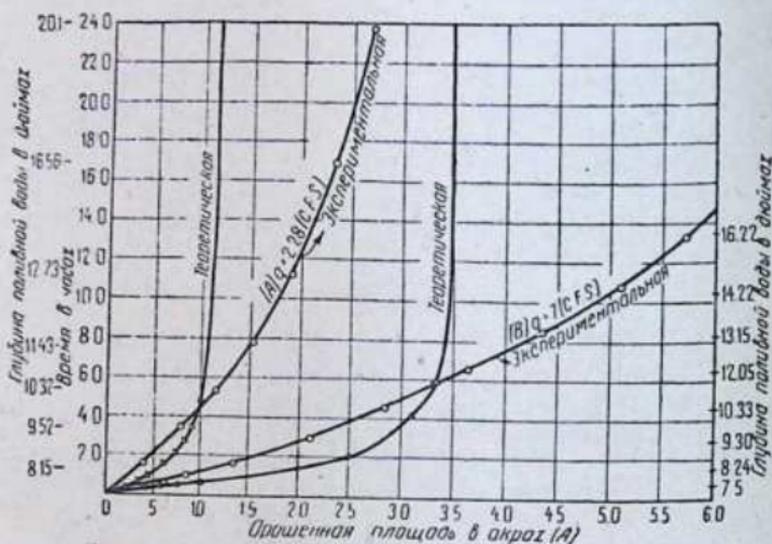


Рис. 50. Отношение между поливаемой площадью и глубиной заданной воды и временем, необходимым для полива окаймленной полосы в штате Айдаго.

указывают, что почва более проницаема при первой даче воды.

Результаты опытов в Айдаго и в Калифорнии подчеркивают факт, что на пористых почвах, во избежание значительных потерь через просачивание, необходимо задавать воду на малые площади большей струей. Другими словами, водоподача, оросители, распределение воды и подготовка земель должны планироваться так, чтобы на сильно проницаемых почвах водопользователи могли бы, во избежание избыточного просачивания вглубь, производить полив с большой скоростью полива ( $q/A$ ), примерно от 10 до 25 куб. фут/сек на акр.

**70. Полив затоплением площадок или чеков (Check flooding).** Полив затоплением площадок заключается в том, что на относительно ровные делянки, окруженные валиками, направляется сравнительно сильная струя воды. Этот метод особенно пригоден для сильно проницаемых почв, которые необходимо быстро покрыть водой во избежание потерь близ самих оросителей вслед-

ствие просачивания вглубь. Он также применим и для тяжелых почв, в которые вода проникает настолько медленно, что они не успевают достаточно промокнуть во время передвижения воды по ним. В таком случае достаточное насыщение почвенной толщи может быть обеспечено лишь при задержке воды на поверхности. Поливные площадки приготавливаются иногда путем сооружения валиков вдоль горизонталей, имеющих вертикальные интервалы от 6 до 12 см, и соединением их в подходящих местах с поперечными валиками. Такие площадки называются контурными. Поле в 16 га с контурными площадками представлено на рис. 51-А. Распланировка того же поля на прямоугольные площадки представлена на рис. 51-В.

Прямоугольные площадки, в настоящее время более широко применяемые, чем контурные, устраиваются путем поделки по

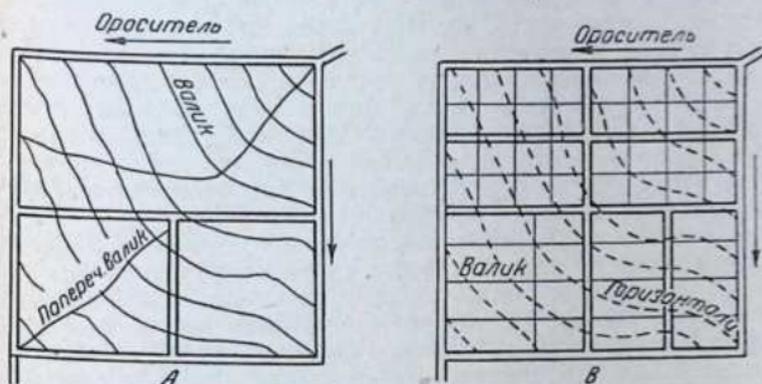


Рис. 51. А — поле в 16 га с площадками по горизонталям; В — то же поле с прямоугольными площадками (из книги Фортэ «Использование воды при орошении» McGraw-Hill Book Company).

прямым линиям продольных валиков, примерно параллельным горизонталям, и пересечения их там, где это желательно, с валиками, расположенными под прямым углом.

В культуре зерновых и кормовых растений полив затоплением бывает целесообразным в местностях, где доступны большие расходы поливной воды, а также на оросительных системах, где снабжение водой происходит непосредственно от рек, резко изменяющих мощность своего расхода. В Аризоне, в Новой Мексике и в некоторых частях Калифорнии летние ливни сильно поднимают уровень воды в реках, и во избежание потерь воды желательно сразу же использовать их.

На землях с очень небольшим уклоном каждая площадка может быть более 1 га величиной, но в общем площадки более 1 га менее желательны, чем площадки от 0,15 до 0,80 га.

Валики должны быть от 180 до 240 см ширины у основания и не более 25—30 см высоты, чтобы не препятствовать пере-

движению сельскохозяйственных машин и нормальному развитию растений.

**71. Полив по лункам:** Полив по лункам, не отличаясь по своему существу от полива по площадкам, специально приспособлен для орошения плодовых садов. Обычно лунка изготавливается на каждое дерево в отдельности, но при благоприятных условиях почвы и наклона поверхности в лунку включается от 2 до 4 деревьев. Вода поступает в лунку из оросителя, а затем или протекает из одной лунки в другую, или же по специально устроенным небольшим канавкам направляется непосредственно в каждую лунку, как видно из рис. 155 (см. дальше).

**72. Распределение воды.** Для того чтобы орошение было возможно более продуктивным, весьма важно равномерное распределение воды во избежание заболачивания или потерь через просачивание вглубь в одной части поля при недостаточном смачивании почвы в другой. При каждом поливе напуском преследуется цель достаточно увлажнить почву на каждом квадратном метре поверхности, не допуская потерь через просачивание вглубь в какой бы то ни было части поля. Большой сброс на нижнем конце также является непроизводительной тратой, но, как правило, этого рода потери настолько легко обнаруживаются, что здесь не стоит уделять им много внимания. Указанный выше метод довольно трудно достижима, особенно при том методе полива, когда почва смачивается путем медленного продвижения воды по поверхности, т. е. при «диком напуске» и при напуске по полосам. Точно так же и при поливе бороздами, описанном в §§ 75—77, достаточно увлажнить почву и в то же время предотвратить избыточное просачивание воды вглубь затруднительно. Продуктивность орошения детально рассматривается в гл. XVII. Желательно, однако, чтобы читатель уже теперь ознакомился с методом учета примерного использования воды при каждом поливе для того, чтобы иметь возможность оценить, какая часть поливной воды действительно запасается в почве для дальнейшего использования ее развивающимися растениями.

**73. Оценка использования воды.** Если ирригатор знает величину струи, направленной к участку, то вычислить среднюю глубину воды, заданной за определенное время на данной площади земли, представляет простую задачу. Для иллюстрации приведем следующий пример хода вычислений.

Пусть  $q$  — величина струи в куб. фут. в секунду (или акродюймах в час),

$a$  — площадь орошаемой земли в акрах,

$t$  — время в часах, необходимое для полива этой площади,

$d$  — глубина в дюймах поливной воды, которая получилась бы, если бы ее быстро и равномерно распределить по всей поверхности орошаемого участка.

Количество куб. фут./сек (или акродюймов в час), помноженное на время в часах, даст общее количество потребленной воды

в акро-дюймах. Тот же результат получится от умножения количества орошаемых акров на глубину в дюймах. Отсюда:

$$da = qt. \quad (32)$$

Таким образом, очевидно, что если водопользователю известны три из вышеозначенных величин, то он легко может определить и четвертую.

В гл. IX показано, что обычные почвы редко удерживают за один полив в среднем более акро-дюйма воды на каждый акро-фут почвы. Рассмотрим, например, почву плато или террасу в 4 фута (120 см) глубиной с подпочвой из грубого песка и гравия. Если водопользователь находит, что при применяемом им методе полива для орошения 1 акра струей в 2,8 куб. фута в секунду ему необходимо поливать этот участок в течение 4 часов, он может определить, на основании уравнения (32), что он дал полив глубиной в 11,2" (28 см). Так как почва может удержать лишь 4 акро-дюйма, а залегающие ниже на большую глубину песчаные и хрящеватые подпочвы обладают ничтожной влагоемкостью, то отсюда следует, что ирригатор допускает потери через глубинное просачивание, превышающие 7 акро-дюймов, и что для более эффективного использования воды ему необходимо изменить метод полива.

**74. Преимущества метода полива по бороздам.** В пяти описанных выше методах полива при каждом поливе смачивается почти вся поверхность земли. Применение борозд для орошения некоторых почв и культурных растений, как видно на рис. 52, требует смачивания лишь части поверхности — от  $\frac{1}{2}$  до  $\frac{1}{5}$ . Таким образом, уменьшаются потери через испарение, не допускается заиливание тяжелых почв и становится возможным ускорение почвы в более близкий срок после полива.

Почти все пропашные растения орошаются поливом по бороздам. В штате Вашингтон, в некоторых частях штата Айдахо и в южной части штата Юта зерновые и люцерна обычно орошаются при помощи мелких борозд, носящих в Америке специальное название коррюгэшен (corrugation). Эти мелкие борозды особенно выгодны там, где источники поливной воды ограничены, а также для земель с неровной поверхностью. Полив по бороздам применим для очень разнообразных уклонов. Обычно принято направлять борозды по наиболее крутому уклону, избегая, таким образом, переливания воды через края борозд.

**75. Длина борозд.** На некоторых почвах с уклоном от 100 до 150 м на каждые 1 000 м полив по бороздам может успешно практиковаться при условии применения очень слабой струи и при тщательном наблюдении за возможностью размыва. Предпочтительны уклоны от 10 до 30 м на 1 000 м, хотя целый ряд различных почв может быть удовлетворительно полит по бороздам и при уклонах от 30 до 60 м.

Длина борозд варьирует от 30 м (100 футов) и менее в садах и до 400 м в полях. В штате Юта очень немногие ирригаторы применяют борозды более 200 м (660 футов) длины; наиболее обычны борозды от 90 до 150 м (от 300 до 500 футов) длины.

Применение длинных борозд на легких почвах приводит к значительным потерям через просачивание вглубь вблизи оросителя.

**76. Расстояние между бороздами и глубина их.** Расстояние между бороздами при поливе кукурузы, картофеля, сахарной свеклы и других пропашных растений определяется соответствующим расстоянием между рядками растений, причем на каждый рядок приходится по одной борозде. В плодовых садах



Рис. 52. Полив по бороздам в долине Змеиной реки в штате Айдаго.

поливные борозды могут быть расположены на расстоянии от 90 до 180 см, а на почвах с очень хорошей капиллярностью или с непроницаемыми подпочвами допустимы расстояния 3—3,5 м. При более широких промежутках необходимо на основании определений влажности почвы на пробах, взятых почвенным буром, проверить боковое передвижение влаги из борозд.

Борозды от 20 до 30 см глубины облегчают контроль расхода воды и ее проникание в более непроницаемые слои. Такие борозды хорошо применимы для плодовых садов и для некоторых пропашных растений. Для таких же пропашных, как, например, сахарная свекла, более подходят борозды 7,5—12 см глубины, но при этом необходимо, как при орошении сахарной свеклы, так и других корнеплодов, следить за тем, чтобы борозды были достаточно глубоки, а струя воды — достаточно мала во избежание соприкосновения воды с растениями.

**77. Распределение воды по бороздам.** Вода направляется в борозды из земляных оросителей или деревянных или бетонных

жолобов, или же из бетонных подземных труб. В штатах Юта и Айдаго чаще всего применяют земляные оросители. Для поступления воды в одну или несколько борозд делаются небольшие прокопы в бортах оросителя. На рис. 53 изображено снабжение 4 мелких борозд из одного прокопа. Этот метод требует тщательного присмотра во избежание размывов прокопа и вытекающих отсюда последствий — избыточного тока в одни выпуски и недостаточного в другие. Но, с другой стороны, метод этот очень гибок, позволяя давать более сильную струю вначале, когда вода впервые направляется в борозду для быстрого смачивания ее по всей длине, а затем уменьшать струю таким образом, чтобы только поддерживать влажность борозды, одновременно сокращая до минимума или совершенно предотвра-



Рис. 53. Четыре борозды, снабжаемые водой из одного выпуска (из U. S. Dept. Agr. Farmers' Bull. 1348).

щая сброс на нижнем ее конце. Сходным с описанным является управление поливной струей из деревянных или бетонных жолобов, а также из деревянных или бетонных труб, вделанных в края арыков, тоже требующих присмотра поливальщика.

В штатах Калифорния, Орегон и Вашингтон, особенно в плодовых садах, земляные оросители заменены в широком масштабе небольшими деревянными или бетонными жолобами или подземными бетонными трубами. Типичные снабжающие жолоба с наибольшими выпускными отверстиями представлены на рис. 54.

**78. Естественное подземное орошение.** В некоторых местностях естественные условия благоприятствуют даже воды почве непосредственно ниже уровня поверхности — так называемому подземному орошению. Непроницаемая подпочва на глубине 180 см или более, суглинистая или песчано-суглинистая почва, равномерные топографические условия и умеренный уклон благоприятствуют подземному орошению. В таких условиях правильный контроль над поливной водой для предотвращения засоления

или заболачивания обычно приводит к более экономному использованию воды, высоким урожаям и экономии труда, затрачиваемого на полив.

В Калифорнии имеется несколько обширных, низко расположенных земельных площадей в дельтах рек Сакраменто и Сан-Хоакин, на которых с успехом применяется подземное орошение. Некоторые из этих площадей до их мелиорации ежегодно затоплялись водами этих рек. Мелиорация стала возможна после сооружения больших насыпей вокруг земельных площадей

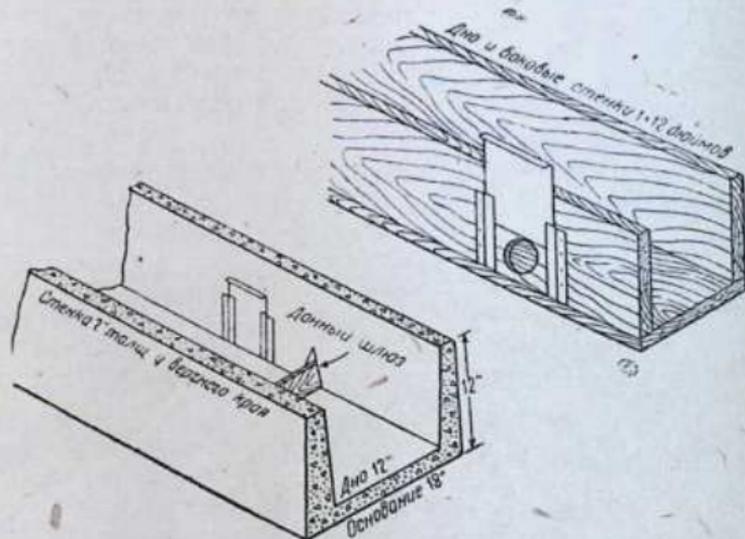


Рис. 54. Донный шлюз в бетонном жолобе и выпускное отверстие в деревянном жолобе (из New Mex. Agr. Exp. Sta. Circular 92).

в несколько тысяч га с последующим устройством дренажа и откачкой воды через насыпи из дренажных труб в речные русла. Почвы здесь состоят в значительной степени из разложившегося органического вещества и весьма напоминают торфяные почвы. В течение нескольких месяцев каждого года вода в речных руслах, регулируемая в настоящее время искусственными дамбами, подымается от 60 до 300 см и более над поверхностью земли. Чтобы получать воду для орошения, сооружают над дамбами сифоны, и, таким образом, вода перебрасывается через них на участок. Она распределяется в ряде оросителей по 60—90 см глубины и 30 см ширины с вертикальными боковыми стенками. Оросители, расположенные на расстоянии от 45 до 90 м друг от друга, вполне обеспечивают распределение воды для орошаемых культур — зерновых и корнеплодов.

В штатах Скалистых гор можно указать на три района, в которых успешно применяется естественное подземное орошение, а именно: участок Эджин Бэнч в верхней части долины Змеиной реки в штате Айдаго; в долине Каш в штате Юта

и, наконец, в долине Сан-Луис в штате Колорадо. Ниже приводим описание условий и способа полива в Эджин Бэнч в долине Змейной реки, типичных для подземного полива.

**79. Условия в Эджин Бэнч в штате Айдаго.** Земли Эджин Бэнч обнаруживают равномерный уклон около 0,002. Почвы — суглинки и хрящеватые суглинки от 45 до 180 см глубины лежат на более пористой подпочве, в свою очередь подстилаемой непроницаемым слоем лавы на глубинах от 1—2 м и до 30 м. В ранний период сельскохозяйственного использования этих площадей были сделаны попытки оросить эти земли обычными методами полива напуском. Следствием этого были значительные потери воды через просачивание вглубь, и для получения нормальных урожаев пришлось применять частые поливы. Постепенный подъем грунтовых вод убедил ирригаторов, что, применяя более подходящие методы орошения, можно было бы удовлетвориться меньшим количеством воды. В настоящее время поливная вода подается в неглубоких оросителях около 90 см ширины, расположенных на расстояниях от 30 до 90 м друг от друга. Обычно эти каналы не превышают 400 м длины. В каждый канал направляется струя от 7 до 15 л в секунду. Влага постепенно просачивается к грунтовым водам и обуславливает их капиллярный подъем, достаточный для увлажнения корнеобитаемой зоны, обеспечивая, таким образом, нужды растений.

**80. Подземное орошение и дренаж.** В некоторых местностях естественный дренаж недостаточен для отвода избытка воды, применяемой при подземном орошении. Так, в последнее время для предотвращения чрезмерного заболачивания и засоления в Люнстоне в долине Канн в штате Юта оказалось необходимым соорудить большие открытые дренажные канавы. Возможно, что методы подземного орошения могут быть успешно применены в некоторых частях обширных орошаемых долин, как, например, в долине реки Сан-Хоакин в Калифорнии и в долине Соленой реки в Аризоне, где глубокое просачивание при орошении наземными методами привело к такому подъему грунтовых вод, что для поддержания продуктивности почвы пришлось применить дренаж путем откачивания воды.

**81. Искусственное подземное орошение.** При очень благоприятных почвенных условиях и при возделывании высокоценных культурных растений на малых площадях закладывают в землю значительно ниже уровня поверхности систему распределяющих воду труб. Снабжение растений водой под землей через различного рода трубы или другие проводки называется искусственным подземным орошением.

Чисто механический успех искусственного подземного орошения определяется соответствующими почвенными условиями, а именно — легкостью передвижения воды в стороны и относительно быстрым капиллярным подъемом ее. Лица, плохо осведомленные в различных методах орошения, склонны переоценивать преимущества искусственного подземного орошения и допускать столь значительные расходы на эту систему орошения, что впоследствии они не оправдываются результатами. Стоимость

данного метода орошения делает его в обычных условиях недоступным.

**82. Условия, благоприятствующие применению метода дождевания.** Дождевание состоит в том, что вода распределяется по поверхности почвы в распыленном виде примерно так, как дождь. Этот метод орошения оказался особенно пригодным для полива овощей, ягод и других ценных культурных растений. Дождевание широко применяется во влажных районах США для обеспечения постоянного и быстрого роста ценных культурных растений, независимо от случайных засушливых периодов. Дождевание, при обеспеченном водном источнике, служит, так же как и другие методы орошения во влажных или полувлажных местностях, своего рода страховкой. Быстрое распространение дождевания в восточных штатах Северной Америки подчеркивает ценность этого метода орошения, обеспечивающего хороший урожай независимо от осадков. В засушливых районах дождевание иногда является выгодным для выращивания ценных культурных растений, особенно на таких землях, где применение других методов орошения трудно осуществимо.

**83. Типы дождевальных аппаратов.** Наиболее часто применяемые системы дождевальных аппаратов можно разбить на два типа, а именно: аппараты с горизонтальными трубами и аппараты с вращающимися насадками. Оба типа хорошо разобраны Митчелем и Штабнером (Mitchell and Staebner), у которых мы и заимствуем нижеследующее их описание.

**84. Аппараты с горизонтальными трубами.** Дождевальные аппараты, наиболее часто применяемые в восточных штатах Северной Америки, состоят из труб, расположенных параллельно на расстояниях около 15 м друг от друга на опорных столбах около 2 м высоты. Каждая труба снабжена небольшими насадками, расположенными на 100—120 см друг от друга. Установка эта изображена на рис. 55.

Каждая насадка выбрасывает небольшую струю воды перпендикулярно к линии трубы, поэтому все струи параллельны. Вода распыляется и падает на землю тончайшими капельками или в виде тумана; вся ширина—около 15 м—может быть орошена равномерно при вращении трубы. Вода для полива накачивается через подземные трубы, с которыми каждый горизонтальный трубопровод соединяется вертикальной трубой. У начала каждой трубы с насадками имеется гидрант, задвижка, ручка для поворота трубы и ситечко для задерживания сора и осадков в воде.

Только что описанная установка известна в Америке под названием «высокостолбной». Реже применяются столбы от 45 до 120 см высоты; тогда система именуется «низкостолбной». В некоторых системах дождевальные трубы с насадками подвешены на проволоках к тросу, прикрепленному к столбам от 3,5 до 6 м высоты, расположенным на расстояниях от 15 до 40 м друг от друга.

Переносная дождевальная установка, применяемая в некоторых местностях, состоит из одной или нескольких дождевальных труб, которые по желанию переносятся с одного места поля на

другое. Они раскладываются на земле или поддерживаются ящиками, короткими столбами или другими переносными приспособлениями. Иногда и главный трубопровод, снабжающий переносные дождевальные трубы, укладывается на землю и передвигается с одного поля на другое. Переносная система изображена на рис. 56.

Большинство ирригаторов восточных штатов применяет высокостолбную установку. Низкостолбная установка дает некоторую экономию в стоимости столбов, но больше, чем высокостолбная, мешает обработке полей. При применении высоких столбов легкий ветер лучше распределяет воду по полю. Система



Рис. 55. Орошение дождеванием (из New Jersey Agr. Exp. Sta. Bull. 453).

с трубами, подвешенными на кабелях, меньше всего мешает выполнению сельскохозяйственных работ, особенно когда дождевальные трубы подвешены высоко; их помещают иногда до 2,7 м над поверхностью. Однако установка дождевальных труб выше 2 м над поверхностью земли сильно затрудняет очистку насадок.

Преимуществами переносных установок являются их меньшая стоимость, потребность в меньшем количестве труб, но стоимость эксплуатации их выше благодаря дополнительным работам по переноске труб, а также соединению и разъединению их. Там, где кроме того применяются и переносные опорные части, установка эта совершенно не мешает обработке почвы.

**85. Вращающиеся дождевальные аппараты.** Вращающиеся дождевальные аппараты разбрасывают воду из вращающихся насадок, укрепленных на вертикальных трубах, равномерно расположенных по полю. Для орошения овощных растений насадки поднимаются на высоту от 120 до 180 см над землей и снабжаются водой через вертикальные трубы, расположенные на равных расстояниях друг от друга в шахматном порядке, как показано на рис. 57. Это дает более правильное распределение воды по полю, чем при расположении насадок на углах квадратов или прямоугольников. Каждая боковая труба, а иногда и каждая насадка, регулируется краном. Эта система мало применяется в восточных штатах.

Распространение ее ограничивается местностями с легкими почвами, быстро впитывающими воду, и такими растениями, которые не страдают от грубого обрызгивания. Вращающиеся дождевальные аппараты более приспособлены для орошения плодовых насаждений, чем овощных растений, и довольно широко применяются в citrusовых садах в Калифорнии. Там вертикальные трубы-подпорки делаются высокими, насадки часто поднимаются над уровнем деревьев, а иногда помещаются близко от деревьев, чтобы меньше препятствовать обработке.

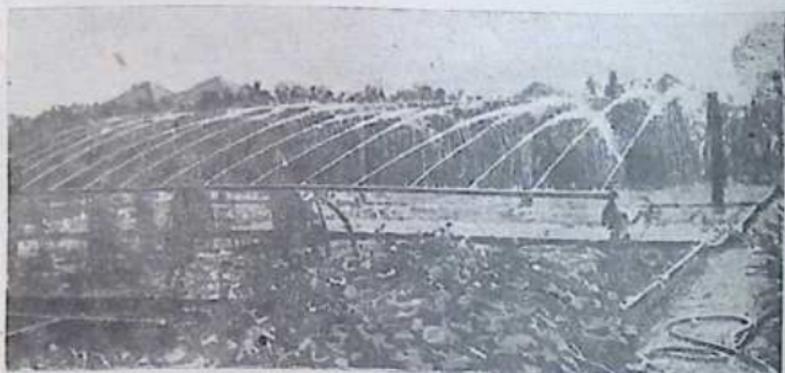


Рис. 56. Переносная дождевальная установка, применяемая в садах и парниках (сады Лютера Бэрбанка в Санта Роза в Калифорнии; из U. S. Dept. Agr. Bull. 495).

**86. Стоимость различных методов орошения.** Первоначальные расходы по подготовке земель для орошения обходятся от нескольких долларов до 1 000 долларов на га. Подготовка для орошения примитивным методом напуска требует наименьших затрат, тогда как подготовка для искусственного подземного орошения или для дождевания требует значительных вложений. Согласно авторитетным оценкам, общая стоимость соответствующей подготовки земель западных штатов для продуктивного орошения примерно равняется общей стоимости плотин, каналов, шлюзов и других основных оросительных сооружений, обеспечивающих хозяйства доступной водой. Есть еще широкое возможности улучшения подготовки земель путем выравнивания их, подбора полос соответствующей ширины и длины, подбора размера площадок, длины и глубины борозд и расстояний между ними, наиболее подходящих для данных почвенных условий и величины поливной струи. Передовые фермеры-ирригаторы изучают потери воды и расходы на эксплуатацию в их отношении к расходам по усовершенствованию методов орошения. Подготовка для орошения напуском или затоплением стоит от 37 до 125 долларов на гектар; орошение лунками при прочих равных условиях обходится несколько дороже.

В обширных оросительных системах западных штатов в общие расходы, с которыми приходится считаться фермерам, входят не только стоимость подготовки земель, но и расходы по

иригационным работам. Рассмотрение последних выходит за пределы настоящей книги. Необходимо, однако, отметить, что при организации орошения дождеванием в первоначальную стоимость обычно входят и расходы по водоснабжению, что делает ее относительно большей и непосредственно несравнимой со стоимостью подготовки земель для других методов орошения. Для орошения дождеванием капитальные расходы равняются от 500 до 1 000 и более долларов на га. Основываясь на первоначальной стоимости в 625 долларов на га для ста-

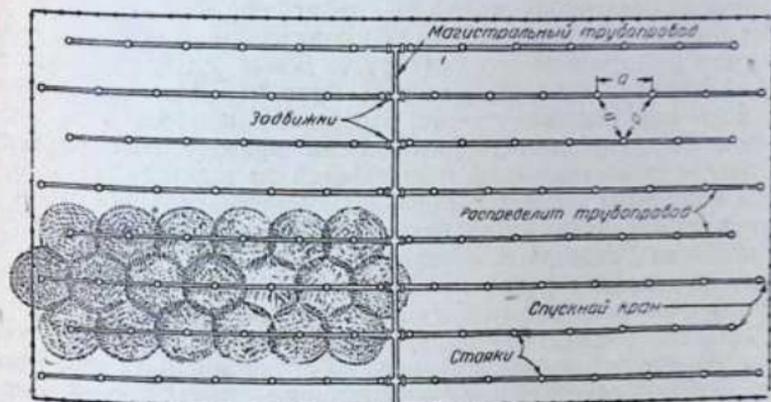


Рис. 57. Примерный план расположения трубопроводов для вращательных дождевальных аппаратов, показывающий расположение насадок с наименьшим перекрытием орошаемых площадей. Расстояния, обозначенные буквой *a*, должны быть равны (из U. S. Dept. Agr. Bull. 1529).

ционарной дождевальной установки, Вилльямс (Williams) оценивает общие годовые накладные и эксплуатационные расходы по орошению нормой в 15 см на га в год в 127 долларов.

**87. Выбор источника водоснабжения для дождевания.** Первое, что необходимо сделать при проектировании орошения дождеванием, это убедиться в том, имеется ли хороший источник водоснабжения, который кроме того был бы достаточным для всего периода самого сухого сезона. В этом направлении необходимо разрешить все сомнения, прежде чем приступить к работам. Орошение требует значительных количеств воды, и тот факт, что наличный источник вполне удовлетворяет всем остальным нуждам хозяйства, вовсе еще не доказывает, что он может удовлетворить потребности орошения в сухие периоды. Если будущий иригатор стоит перед задачей выбора из нескольких источников водоснабжения, ему необходимо, прежде чем выбрать его, тщательнейшим образом рассмотреть стоимость первоначальной установки, а также стоимость эксплуатации и поддержания каждого из доступных источников.

**88. Обычные источники воды для орошения дождеванием.** Большинство дождевальных установок, особенно в Средне-Атлантических штатах, пользуются грунтовой водой. Она добывается

с глубины от 4,5 до 15 м, и мало водопользователей имеют колодцы глубже 30 м. Качество грунтовой воды для орошения хорошее. При глубине, не превышающей 15 м, обычно применяют буровые колодцы, потому что в районах, где наиболее распространено орошение, отсутствие скал и валунов позволяет легко бурить. Где одного колодца недостаточно, устраивают батареи от двух до пяти и более колодцев, соединенных вместе наверху. При том обычном расстоянии, на котором располагают колодцы (от 1,8 до 3 м друг от друга), дебит не увеличивается пропорционально числу колодцев; дебит, по всей вероятности, мог бы быть увеличен, если бы колодцы располагались на более удаленном расстоянии друг от друга. Более глубокие колодцы шире в диаметре и труднее сооружаются, чем колодцы бурового типа, хотя они снабжают водой в большем количестве и более надежно. Там, где для водоснабжения применяются глубокие колодцы, вода обычно сама поднимается на нормальную высоту для накачивания; если же этого нет, дополнительные расходы по накачиванию с больших глубин могут в значительной степени повысить стоимость орошения.

Около крупных городов иногда вполне осуществимо добывание воды для орошения из муниципальных водных магистралей. Качество таких источников воды прекрасное, и при этом избегается расход на накачивание, но с увеличением населения города и с соответствующим возрастанием потребностей в воде для домашних нужд постоянство этого источника не всегда обеспечено.

Во многих случаях вода для орошения добывается из озер, прудов и ручьев. Ценность любого источника для орошения определяется тем, может ли он обеспечить достаточное количество воды в сухой сезон, когда она наиболее нужна. Можно использовать очень маленькие ручьи и даже родники, если есть возможность создать водохранилище путем сооружения плотины. В большинстве случаев такие поверхностные воды требуют перед употреблением фильтрации во избежание засорения насадок.

**89. Количество воды, необходимое для полива дождеванием.** Так как дождевание более широко применяется во влажных, чем в сухих, районах, сезонная потребность в воде этого метода полива ниже по сравнению с потребностями методов напуска и полива по бороздам, применяемых в более засушливых районах. В более сухие годы необходимо от 6 до 8 акро-дюймов на акр (от 18 до 24 см на га), тогда как в некоторые годы 12 см является достаточной добавкой к осадкам, чтобы вести доходное овощное хозяйство.

Вилльямс нашел, что при подготовке гряд для посева и для орошения овощей в ранний период их роста требуются очень небольшие поливные нормы — от 0,25 до 0,50 акро-дюймов на акр (от 0,6 до 0,25 см на га). При проектировании орошения Вилльямс рекомендует брать в среднем за основу 1" в неделю (12 см в месяц) во влажных районах и около 1,5" в неделю (18 см в месяц) в сухих районах.

## ГЛАВА VI

### ОРУДИЯ И СООРУЖЕНИЯ В ОРОШАЕМОМ ХОЗЯЙСТВЕ

Каждый из методов подготовки земли для орошения, на-  
меченных в гл. V, требует известного оборудования для получения  
наиболее эффективных результатов. В настоящей главе описы-  
ваются орудия, обычно применяемые для подготовки почвы.  
Кроме соответствующих орудий обработки почвы, для большей  
эффективности и экономии необходимо, чтобы каждое орошаемое  
хозяйство было обеспечено сооружениями, облегчающими кон-  
троль и регулировку тока поливной воды во время орошения.

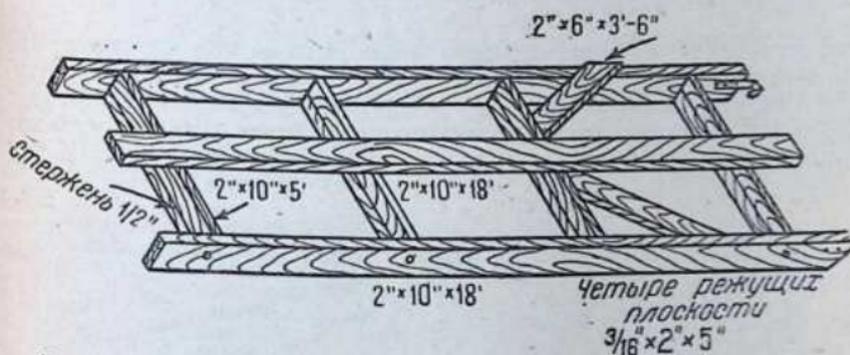


Рис. 58. Почвенная волокуша (New Mexico Ext. Service Circular 92).

До настоящего времени ирригационными исследовательскими учреждениями уделялось сравнительно мало внимания оросительным сооружениям, так как их отвлекали более основные проблемы связи между орошением, почвой и растениями. Чем глубже знание взаимоотношений между почвой, растением и водой и чем больше возрастает потребность в воде, тем более возможным и необходимым становится регулирование расхода воды и ее равномерного распределения по поверхности для смачивания почвы на желаемую глубину без излишних потерь. В настоящей главе описываются некоторые сооружения, которые могут облегчить регулирование расхода воды.

**90. Орудия.** Орудиями первоочередной важности в орошаемом хозяйстве являются плуг, зубчатая борона, дисковая борона и драга. Хорошие плуги и хорошая пахота способствуют равномерному распределению поливной воды. Земли, которые оро-

шаются методом дикого напуска, особенно нуждаются в хорошей пахоте, так как при отсутствии специально приготовленных валков нет возможности задержать воду на более высо-

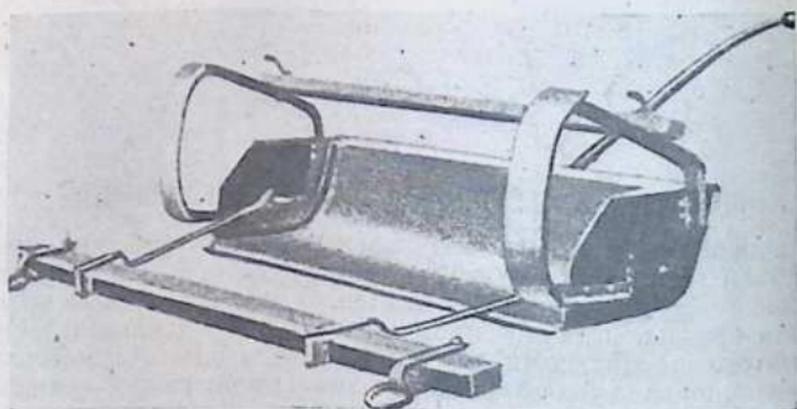


Рис. 59. Скрепер типа Фрэно.

ких участках плохо вспаханного поля. Многие водопользователи по собственному опыту хорошо знают, что небрежная пахота или пахота плохим плугом участков, орошаемых напуском, обуславливает низкую эффективность полива. Применение хороших борон или волокуши, подобно изображенной на рис. 58,

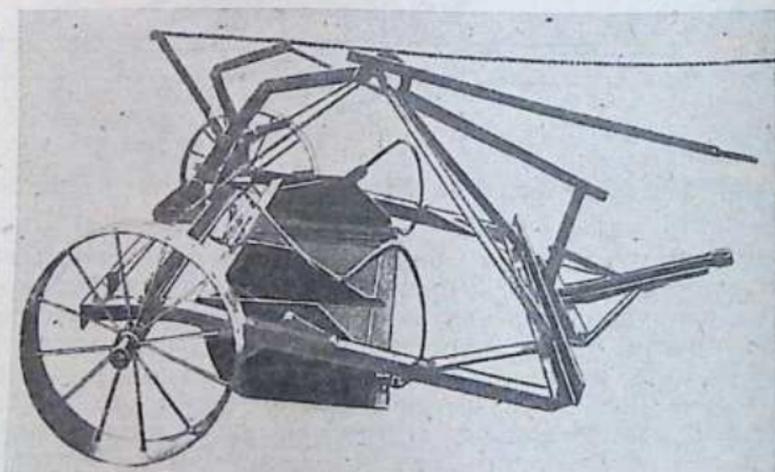


Рис. 60. Скрепер типа Мискин, для привертки к трактору, емкостью в один куб. ярд.

может в значительной степени парализовать вредный эффект плохой пахоты, но та же затрата времени и энергии на хорошо вспаханной земле принесет еще лучшие результаты. Независимо

от применяемого метода орошения лучшие фермеры орошаемых районов всегда придают большое значение качеству орудий обработки для того, чтобы получить ровную поверхность с ми-

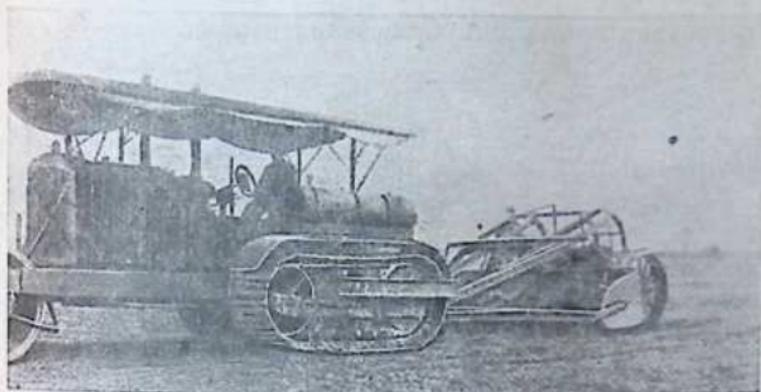


Рис. 61. Гусеничный трактор, тянущий почвенную драгу (рисунки 61—64 из U. S. Dept. Agr. Farmers' Bull. 1243).

нимальным количеством возвышенностей и углублений, являющихся следствием приемов обработки.

**91. Орудия для поделки валиков.** В дополнение к обычным орудиям обработки, с целью выравнивания и изготовления валиков необходимо иметь хорошо сконструированный скрепер типа Фрэсно, представленный на рис. 59, или типа Мискин,

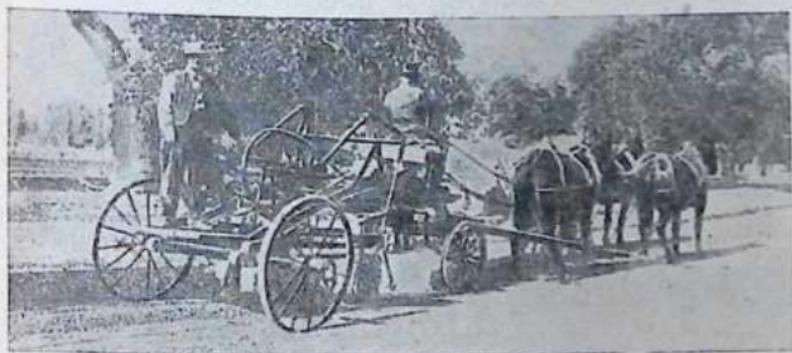


Рис. 62. Дорожный струг, применяемый для подготовки поля для орошения полосами.

изображенный на рис. 60. В более крупных хозяйствах более выгодным оказался специальный почвенный выравниватель, прикрепляемый к трактору, как видно на рис. 61. Употребляются также и стандартные дорожные струги, как видно на рис. 62. Наиболее часто употребляется самодельная треугольная драга, изображенная на рис. 63. Фермеры долины Соленой реки в

Аризоне сконструировали орудие, специально приспособленное для поделки валиков и изображенное на рис. 64. Стальная рама, прикрепленная к заднему концу аризонского орудия, сглаживает и равняет верхушку валика одновременно с операцией сгребания почвы для образования валика.

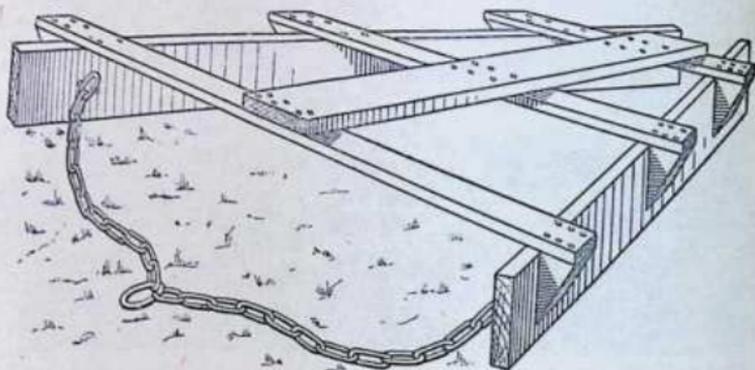


Рис. 63. Драга для поделки ограждающих валиков на полосах.

**92. Орудия для бороздования.** Для устройства мелких борозд можно указать на два типа самодельных орудий-бороздников: один — вальковый — представляет собой вал, на котором прилажены кольцевые выступы желаемой глубины и толщины; другой тип представляет драгу с роликами, служащими для бороздования. Первый тип, изображенный на рис. 65, бороздует путем сдавливания и уплотнения почвы. Второй тип образует

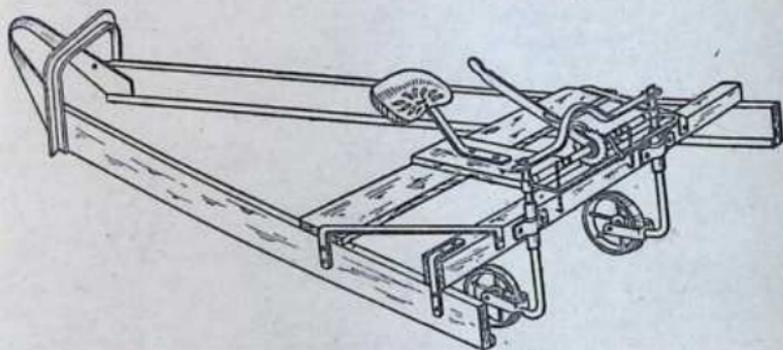


Рис. 64. Орудие для поделки валиков, сконструированное и применяемое в долине Соленой реки в Аризоне.

валики почвы по краям роликов. Два вида самодельных деревянных бороздников представлены на рис. 66 и 67. Эти бороздники, равно как и вальковый, ограничены применением лишь для свежеспаханной почвы. На застарелых люцерновых, клеверных и других полях, имеющих плотную поверхность, для того чтобы приготовить удовлетворительные борозды, необхо-

дны тяжелые, хорошо сконструированные стальные бороздники. Бороздник такого типа представлен на рис. 68. При возделывании сахарной свеклы в западных штатах применяют стандартный двуконный культиватор со специальным маленьким плужным приспособлением для бороздования. Свекольный культиватор может применяться на землях, впервые засеваемых зерновыми злаками или люцерной, но мало применим на почвах, поверхность которых уплотнена. Специальный бороздник на колесах представлен на рис. 69.

**93. Орудия для глубоких борозд.** Картофель, кукуруза, спаржу, сельдерей, а также и плодовые сады, на некоторых почвах лучше всего орошать по сравнительно глубоким бороздам. Особенно желательны глубокие борозды на тяжелых почвах. Из плодовых деревьев орошение при помощи глубоких борозд оказывается полезным для яблонь, персиков, лимонов, оливков, миндаля и др. Иногда для бороздования употребляют обычный лемешный плуг. Для орошения плодовых садов, расположенных на крутых склонах, можно с успехом применять стандартный плуг с отвалом, отваливающим почву в сторону склона, чтобы избежать затопления борозд. Двухлемешный плуг позволяет сэкономить время при проведении глубоких борозд на склонах холмов.



Рис. 65. Вальковый бороздник (рисунки от 65 до 69 включительно взяты из U. S. Dept. Agr. Farmers' Bull. 1348).

**94. Мелкие ирригационные сооружения на сети.** Термин

сооружение применяется обыкновенно к большим плотинам, головным щитам, шлюзам, жолобам, обратным сифонам, перепадам и быстротокам, которые конструируются для отвода воды из естественных источников и для проведения ее к орошаемым хозяйствам. Конструкции и части оборудования, применяемые индивидуальными хозяйствами для отвода воды из больших магистралей в оросители личного пользования и проведения ее в различные части хозяйства, обозначаются здесь как мелкие ирригационные сооружения. Как правило, более выгодны и всегда более удовлетворяют ирригатора такие сооружения, которые обладают необходимой производительностью и допускают управление водой согласно желанию потребителя. Многие ирригационные каналы в западных штатах, особенно же в штатах

Скалистых гор, построены вдоль края долин непосредственно над орошаемыми землями, так что каждый ирригатор получает воду прямо из главного канала, который содержит ее в течение всего поливного сезона. На таких каналах особенно необходимо иметь хорошие выводные сооружения для взятия воды. Можно различать две группы мелких ирригационных сооружений, а именно постоянные и временные. Конечно, не существует таких сооружений, которые были бы действительно постоянными в строгом смысле этого слова, но термин постоянные применяется к сооружениям, которые остаются на месте один или более оросительных сезонов. Временными сооружениями называются такие, которые передвигаются с места на место при каждом поливе или строятся для пользования

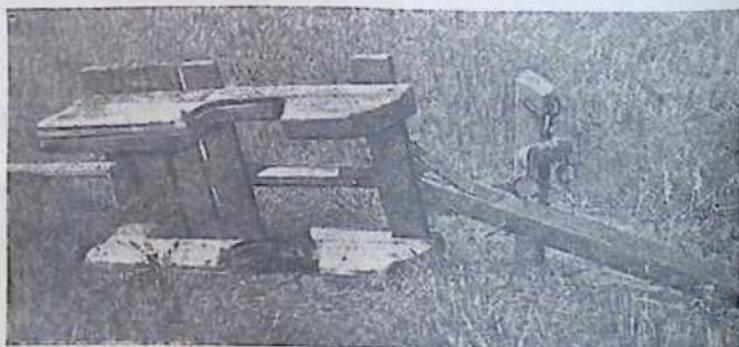


Рис. 66. Тип самодельного деревянного бороздника.

в течение лишь одного сезона. Дальнейшая желательная классификация основывается на функции сооружения и включает: выпускные (головные), проводящие и распределительные сооружения. Различные сооружения каждой из приведенных групп и классов приведены ниже в форме таблички.

**95. Перечень мелких ирригационных сооружений<sup>1</sup>**

|            | постоянные | временные                |                               |                             |
|------------|------------|--------------------------|-------------------------------|-----------------------------|
| Выпуск     | {          | Боковые шлюзы-регуляторы | Переносные стальные перемычки |                             |
|            |            | Выпускные каналы         |                               |                             |
|            |            | Гидранты или задвижки    |                               | Холщевые перемычки          |
|            |            | Трубы                    |                               | Земляные перемычки          |
|            |            | Распределительные ящики  |                               | Перемычки из соломы и земли |
| Проведение | {          | Каналы                   | Канавы                        |                             |
|            |            | Жолоба                   |                               |                             |
|            |            | Надземные трубы          |                               | Соединительные трубы        |
|            |            | Подземные трубы          |                               | Брезентовые шланги          |

<sup>1</sup> Сооружения для измерения поливной воды и для разделения струи на разные части описаны в гл III. Ирригационные сооружения, обозначенные здесь «временными мелкими ирригационными сооружениями», описываются иногда под названием «ирригационное оборудование».

|                    | ПОСТОЯННЫЕ                  | ВРЕМЕННЫЕ        |
|--------------------|-----------------------------|------------------|
| Распреде-<br>ление | { Надземные трубы           | Глубокие борозды |
|                    | { Валики                    | Мелкие борозды   |
|                    | { Дождевальные трубопроводы | Валики полос     |
|                    | { Дождевальные насадки      | Валики чеков     |

**96. Постоянные выпускные сооружения.** До сих пор не существует однообразия среди авторитетных лиц по орошению в наиме-

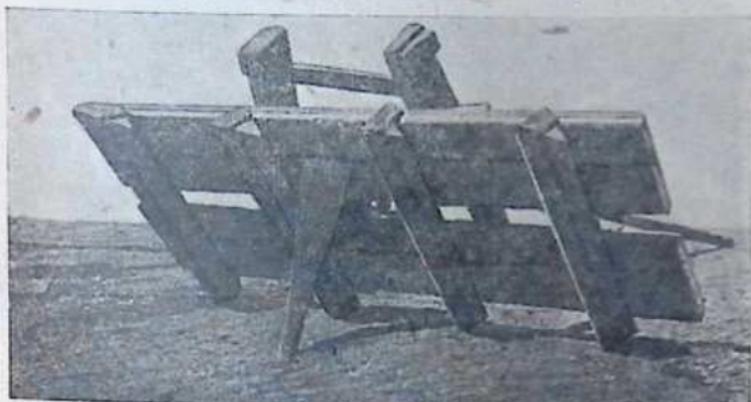


Рис. 67. Другой тип самодельного бороздника.

новании отдельных выпускных сооружений. Автор предлагает нижеследующие обозначения с тем, что заинтересованные лица внесут свои усовершенствования, пока, наконец, не выработается общепризнанная стандартная терминология. Боковые шлюзы-

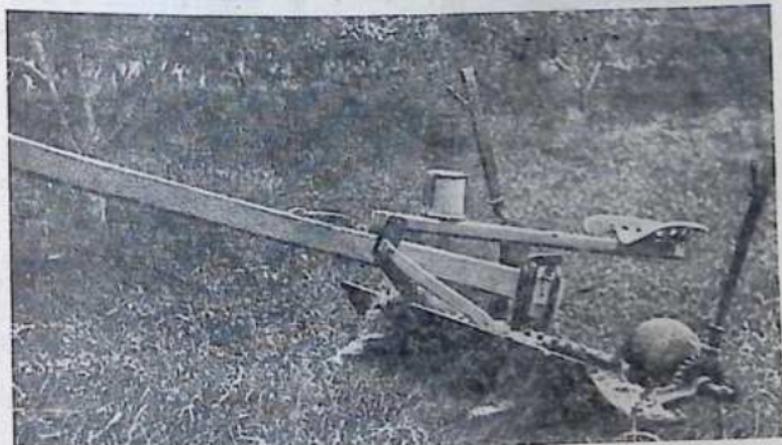


Рис. 68. Стальной бороздник.

регуляторы (check gates) — это шлюзы, помещаемые поперек потока, из которого желательнее вывести воду. Функция шлюзов-регуляторов аналогична водоподъемным плотинам на более

крупных естественных реках или головных каналах. Термин головной шлюз предлагается применять лишь для регулятора, помещаемого в голове магистрального канала; шлюзы,

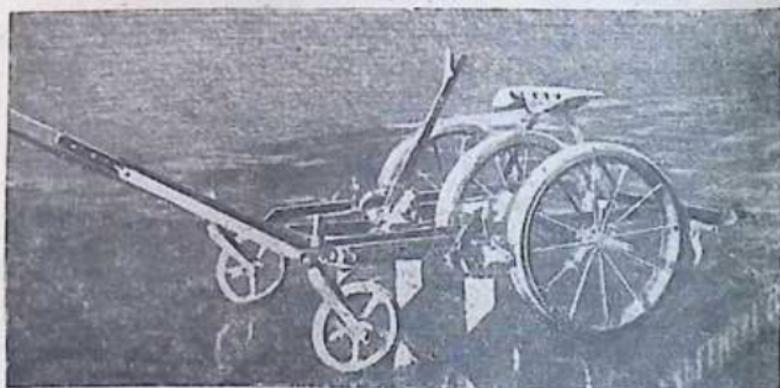
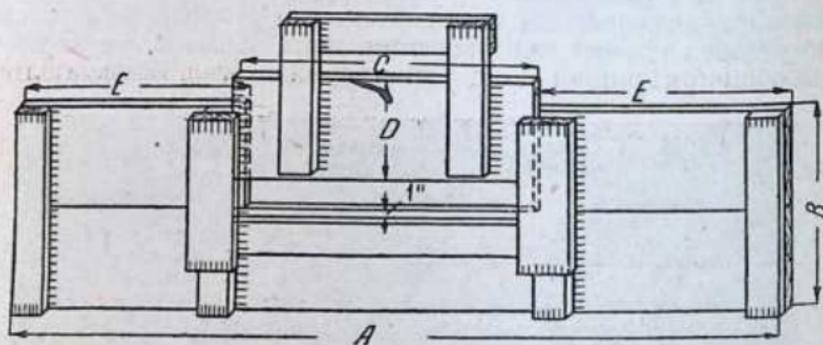


Рис. 69. Вороздник на колесах.

поставленные поперек боковых ответвлений и каналов с целью выведения части или всего тока воды, называются боковыми шлюзами-регуляторами. Отводные шлюзики или выпускные затворы (take out) представляют часть мелких выпускных



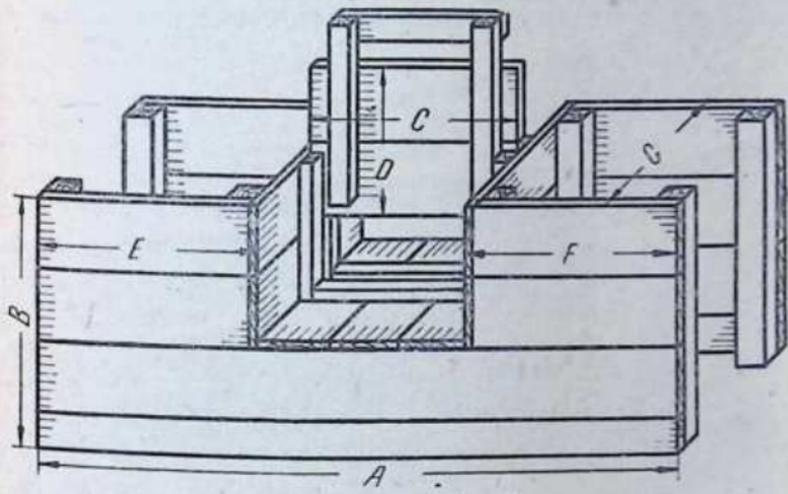
Размеры (в футах)

| Для струи        | A  | B  | C | D  | E  | Толщина досок |
|------------------|----|----|---|----|----|---------------|
| 1-2 куб. ф. сек. | 8  | 2  | 3 | 1  | 2½ | 1"            |
| 2-5 куб. ф. сек. | 9  | 3½ | 3 | .2 | 3  | 1½"           |
| 5-8 куб. ф. сек. | 10 | 3½ | 4 | 2  | 3  | 1½"           |

Рис. 70. Стандартный обычный деревянный боковой шлюз-регулятор.

сооружений и аналогичны головным шлюзам главных магистралей, отводящих воду из речной системы. Функциями шлюзиков являются пропуск достаточного количества воды в боко-

вые каналы или поливные борозды и препятствие поступлению избытка ее. Типичные деревянные боковые шлюзы-регуляторы изображены на рис. 70 и 71. Эти регуляторы могут применяться так же, как и отводные шлюзика, хотя обычно, особенно при выведении сравнительно малых токов из больших каналов, применяются водовыпускные трубы. Для шлюзов-регуляторов в больших каналах, в которых количество воды подвержено значительным колебаниям, желательно их заглубление в дно канала таким образом, чтобы поступающая в канал вода была



Размеры (в футах).

| Для струи               | A  | B     | C | D | E     | F     | G     |
|-------------------------|----|-------|---|---|-------|-------|-------|
| 3-6 куб. ф. сек.        | 9  | 3 1/2 | 3 | 2 | 3     | 3     | 2     |
| 7-10 куб. ф. сек.       | 12 | 4     | 4 | 2 | 4     | 4     | 2 1/2 |
| 10 и более куб. ф. сек. | 14 | 4     | 5 | 2 | 4 1/2 | 4 1/2 | 2 1/2 |

Рис. 71. Стандартный двойной деревянный боковой шлюз-регулятор.

вынуждена проходить через регулятор, а не протекала бы под ним. Рассмотрение гидравлических принципов регулирующих сооружений, приводимое ниже, разъяснит, на чем основаны положения, изложенные выше. Хорошо сконструированный бетонный боковой шлюз-регулятор с деревянным щитом, применяемый в Турлоком оросительном районе в Калифорнии, представлен на рис. 72.

**97. Гидравлические принципы выпускных сооружений.** При выведении воды из большого распределителя или магистрального канала, как правило, желательно для ирригатора получить возможно более постоянный поток. Внезапные избытки воды в канале вследствие ливней или закрытия выводных шлюзов должны протекать вниз по каналу с возможно меньшими препятствиями. Эти два условия, т. е. примерно постоянный ток

и минимум препятствий в магистральном канале, могут быть обеспечены употреблением затопленных водовыпускных труб в качестве выпускных шлюзов и подпорных щитов в магистральном канале с целью вызвать подъем воды, достаточный для затопления мелких выпускных шлюзиков и позволяющий водопользователю получить нужное ему количество воды. Для того чтобы ясно понять эти принципы, читатель должен пересмотреть главы по измерению воды и в особенности уравнения (16) и (18).

Из уравнения (18) видно, что  $H$  изменяется пропорционально степени двух третей  $q$ ; отсюда, для удвоения количества воды,

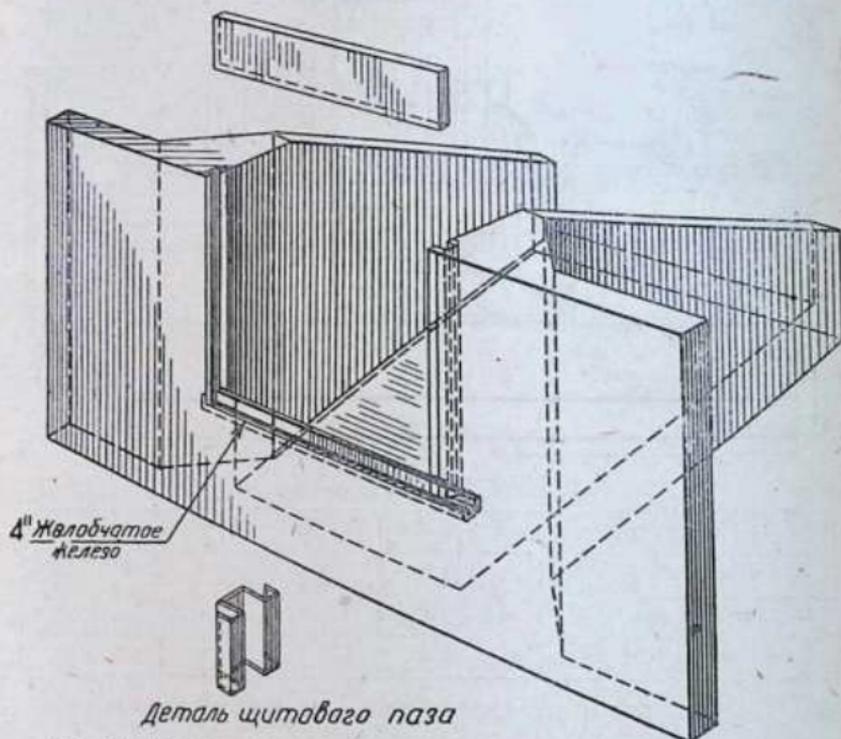


Рис. 72. Бетонный шлюз-регулятор с деревянным щитом, применяемый в Турлокском орошаемом районе в Калифорнии.

протекающего через водоподъемные щиты-регуляторы, глубина должна быть увеличена всего лишь в 1,59 раза.

Уравнение (16) показывает, что  $h$  варьирует пропорционально квадрату  $q$ ; отсюда, для удвоения количества воды, протекающего через подводную водопропускную трубу, напор должен быть увеличен в четыре раза против исходного. Поэтому ясно, что ток воды через подводные шлюзы подвергается значительно меньшим колебаниям, чем ток через переливной шлюз.

**98. Временные выпускные сооружения.** Для выпуска воды из небольших канав многие ирригаторы применяют лишь временные земляные перемычки. Ирригатор устраивает земляную за-

пруд, когда и где ему требуется, простой лопатой. На легко размываемых почвах очень помогает применение слегка перевернутой соломы или бурьяна, удерживаемых колышками, вбитыми в дно канавы. Временные земляные перемычки неприменимы для расхода более 2 куб. фут. в секунду, а в некоторых почвах трудно поддерживаются даже при струе в один или немного более куб. фут. в секунду.

Можно значительно сократить труд, затрачиваемый на временные перемычки, применением переносных перемычек из стали или брезента, изображенных на рис. 73 и 74. Переносные стальные перемычки применимы для более слабых струй, чем брезентовые. Стальная переносная перемычка, необходимая для струй в 3 куб. фут/сек. или более, настолько велика, что становится затруднительно переносить ее по полю. Хорошо изготовленные брезентовые перемычки могут выводить струю до 5 куб. фут/сек. и более, хотя обычно их применяют для струй от 2 до 3 куб. фут/сек. Для

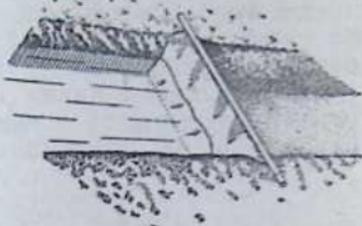


Рис. 73. Переносная брезентовая перемычка в канаве.

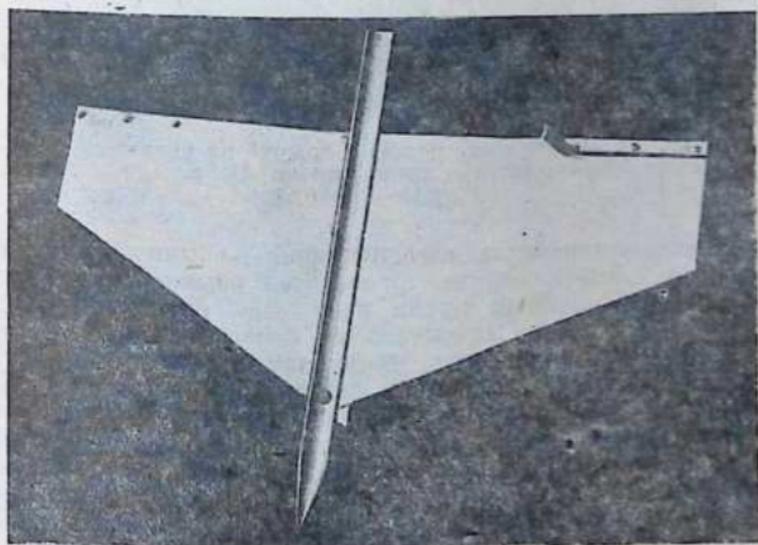


Рис. 74. Переносная металлическая перемычка (из U. S. Dept. Agr. Farmers' Bull. 1348).

того чтобы выдержать давление воды и предотвратить чрезмерное просачивание, необходимо иметь тяжелый плотный брезент.

**99. Водопроводящие сооружения.** Термин сооружение в том смысле, в каком он здесь применяется, относится столько же

к канавам, валикам и т. п., сколько и к конструкциям, изготовленным из дерева, бетона или металла. Большинство водопроводящих сооружений в западных штатах изготавливается из земли.

Количество воды, проводимое земляными канавами, а также жолобами и трубами, может быть рассчитано по уравнениям и таблицам гл. II. Последнее время все более широко применяется, особенно в плодовых садах, система проведения воды на разные участки хозяйства под давлением через подземные бетонные трубы.

При орошении диким напуском многолетних культур, например, люцерны и плодовых деревьев, почти все каналы сооружаются на более или менее длительное время. Для зерно-



Рис. 75. Применение переносных труб из оцинкованного железа при орошении люцерны (из U. S. Dept. Agr. Farmers' Bull. 899).

вых злаков — пшеницы, овса и ячменя — обычно применяются временные каналы, которые проводятся обыкновенным плугом по более возвышенным частям поля. Для фермера-ирригатора наибольший интерес представляют более мелкие постоянные каналы или распределители, применяемые для проведения воды на несколько участков. Эти каналы проводятся при помощи плуга и небольших канавокопателей, конных или тракторных. Обычно принято и наиболее удобно проводить оросительные каналы вдоль границы землепользований, хотя бы земля вдоль этой линии и не имела однообразного уклона. На чрезмерно крутых склонах следует остерегаться размывания каналов, а на пологих — бороться с зарастанием их бурьяном и травами для того, чтобы поддерживать достаточную пропускную способность.

**100. Распределительные сооружения.** Применение валиков глубоких и мелких борозд для распределения воды по поверхности почвы описано в гл. V. Некоторое внимание уделяется там также дождевальным системам и переносным дождевальным установкам.

Там, где поверхность земли очень неровная, где проницаемость почвы велика и вода находится в недостатке, для р

ления применяются переносные трубы. Переносные трубы  
состоятся или из брезента или из оцинкованного железа.  
— рис. 75 изображено применение легко соединяемых оцин-  
кованных труб для орошения люцернового поля. Распреде-  
лительной воды при помощи таких труб ограничивается  
значительно малыми площадями и применяется лишь в немно-  
гих орошаемых районах. Оно не рекомендуется для больших  
участков. На сильно пересеченных участках с ограниченным коли-  
чеством поливной воды применение легко соединяемых труб  
для распределения воды значительно повышает продуктивность  
орошения<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> Определение продуктивности в орошении см. в гл. XVII.

## Г Л А В А VII

### НЕКОТОРЫЕ СВОЙСТВА ПОЧВЫ

Из многих факторов, влияющих на почвообразовательные процессы, климат является одним из важнейших. Поэтому естественно, что имеются большие различия в свойствах почв, образовавшихся во влажных и засушливых климатах. Орошаемые почвы обычно типичны для засушливых климатов. Однако орошение в небольшом масштабе применяется и во влажных районах на почвах, формировавшихся во влажном климате. После длительных периодов орошения в почвах засушливых районов развиваются некоторые свойства, характерные для почв влажных районов.

Исходным материалом всех минеральных почв являются горные породы, хотя некоторые ограниченные площади земель образовались и за счет органических веществ. Раздробление горных пород на мелкие частицы, образующие почвы, является результатом механического воздействия различных факторов.

Главы от VII до XI включительно посвящены рассмотрению взаимоотношений почвы и воды, причем специальное внимание уделено вопросу о влиянии этих взаимоотношений на практику орошения. Из отдельных процессов взаимодействий между почвой и водой наиболее важными для орошаемых районов являются способность почв удерживать поливную воду для удовлетворения потребностей растений, передвижение воды в почвах, содержание растворимых солей в орошаемых почвах, а также их передвижение и скопление в связи с передвижением и испарением почвенной влаги. Главы VII и VIII посвящены описанию свойств почвы и основных взаимоотношений между почвой и водой; главы от IX до XI касаются запасаания и передвижения воды в почвах и проблемы засоления.

**101. Механический состав.** Там, где в основном почвообразовательный процесс состоит в механическом измельчении за счет физического выветривания, образуются сравнительно грубозернистые частицы. Величина этих частиц обозначается термином механический состав. Песчаные почвы относятся к группе с грубым механическим составом, суглинки — к группе со средним, по грубости, механическим составом и, наконец, глинистые почвы — к мелкоземам. Механический состав почвы сильно влияет на передвижение воды и воздуха и на скорость химических превращений, которые имеют большое значение

для растений. Размер почвенных частиц действительно всюду оказывает большое влияние на урожай, но для орошаемого хозяйства он имеет особенное значение, так как в значительной степени определяет количество воды, которое может быть запасено почвой.

**102. Удельный вес твердой фазы почвы или истинный удельный вес.** Истинным удельным весом почвы является отношение веса одной почвенной частицы к весу равного ей по объему количества воды. Удельный вес обычных почвообразующих минералов колеблется от 2,5 до 5,0 и более. Однако, так как основную массу почвы составляют кварц и полевой шпат, действительный удельный вес почв, имеющих низкий процент органического вещества, колеблется мало и приближается в среднем к 2,7, что является удельным весом кварца. Некоторые орошаемые почвы, которые формируются в значительной степени за счет органического вещества, обладают истинным удельным весом от 1,5 до 2,0, в зависимости от наличия минеральных веществ. Почвы островных площадей в долине Сан-Хоакин в Калифорнии являются типичными представителями последнего класса.

**103. Структура.** Частицы в естественной почве значительно варьируют как по величине, так и по форме. Почвы, в которых частицы относительно однообразны по размеру, обладают сравнительно крупными промежутками или порами между частицами, тогда как почвы, в которых при прочих равных условиях частицы сильно варьируют по величине, плотнее сложены, и благодаря этому объем промежутков между частицами таких почв меньше. В мелкоземистых поливных почвах при правильной обработке функционируют группы частиц или комки, тогда как в почвах грубого механического состава каждая частица функционирует в отдельности. Существование структурных зерен или комков обеспечивает желательную почвенную структуру. Избыточное орошение и обработка почв в чрезмерно влажном состоянии ведут к разрушению этих комков. Такая почва характеризуется как распыленная или бесструктурная. Благоприятная структура — важное условие для передвижения воды и воздуха в мелкоземистых почвах.

**104. Кажущийся удельный вес почвы.** Кажущимся удельным весом почвы является отношение веса данного объема сухой почвы, включая воздушные промежутки, к весу равного объема воды. Это отношение известно также под названием объемного веса почвы: очевидно, что кажущийся удельный вес зависит от структуры, т. е. от сложения почвенных частиц, от механического состава и от плотности. Кажущийся удельный вес является очень важным свойством почвы при рассмотрении вопросов орошения, что будет более подробно показано в дальнейшем при рассмотрении вопроса о способности почв удерживать поливную воду.

Ясно, что уплотнение почвы определенного истинного удельного веса увеличит кажущийся удельный вес и уменьшит промежутки, занятые воздухом и водой, иначе говоря — скважность.

Работая на орошаемых землях, необходимо знать кажущийся удельный вес с тем, чтобы иметь возможность учесть воду, заданную при поливе. Это ясно из того факта, что мы не можем непосредственно измерять объем воды, существующий в форме почвенной влаги в данном объеме почвы. Для учета объема воды в данном объеме почвы необходимо определить вес воды в данном весе почвы путем учета потери в весе при сушке, а затем перевести полученные таким образом весовые проценты в объемные проценты, пользуясь кажущимся удельным весом. Таким образом легко определить объем воды в данном объеме почвы.

Из изложенного выше ясно, что необходимо знать кажущийся удельный вес почвы в ее естественном состоянии.

Измерения кажущегося удельного веса нескольких почв различных классов в их естественном состоянии в долине Сакраменто в штате Калифорния дали следующие результаты.

| Класс почвы  | Кажущийся удельный вес |
|--|------------------------|
| Иловато-суглинистые почвы, имеющие мелкоземистые супесчаные подпочвы . . . . . | 1,15                   |
| Иловатые суглинки . . . . .  | 1,31                   |
| Глинистые почвы . . . . .  | 1,35                   |
| Тяжелые глины . . . . .  | 1,69                   |

Влияние этих различий в кажущемся удельном весе почв на порозность приводится в связи с обсуждением влагоемкости почв в гл. IX.

**105. Порозность.** Объем сферического тела диаметром в 1 см равняется 0,524 куб. см. Если его поместить в кубическую коробочку объемом в 1 куб. см, то останется 0,476 куб. см воздушного пространства, что составляет 47,6% общего объема. Тот же объем воздуха останется при любом количестве сферических тел любого диаметра, помещенных вертикальными столбцами, как видно на левой части рис. 76. Если же поместить их в косом направлении (в гексагональную решетку), как видно на правой части рисунка, то объем, занятый воздухом, составит всего только 25,9% общего объема. Эти данные указывают на возможность значительных колебаний в объеме промежутков между сферическими частицами вследствие изменений в их расположении, но они не дают максимальных пределов колебаний, которые могут иметь место в почве. Почти в каждой почве имеется значительное разнообразие в размере и форме частиц, и эти различия влияют на плотность соприкосновения и расположение мелких частиц между большими, определяя, таким образом, общий процент пористых промежутков или порозность, которую для удобства пользования обозначаем буквой *S*. В общем почвы грубого механического состава, или песчаные, обладают меньшей порозностью, чем мелкоземистые суглинки и глины. Нередко в орошаемых почвах наблюдаются колебания порозности от 50 до 60%. Есть, однако, такие глинистые почвы, которые в противоположность общему правилу очень компактны. Некоторые очень мелкоземистые почвы в долине Сакраменто в штате Калифорния обладают порозностью всего

в 36%. Для вычисления порозности ( $S$ ) необходимо знать лишь действительный и кажущийся удельный вес почвы. Отношение кажущегося удельного веса к действительному дает относительный объем, занятый почвой. Вычитая эту величину из единицы, получаем относительный объем пор, как было видно из примера

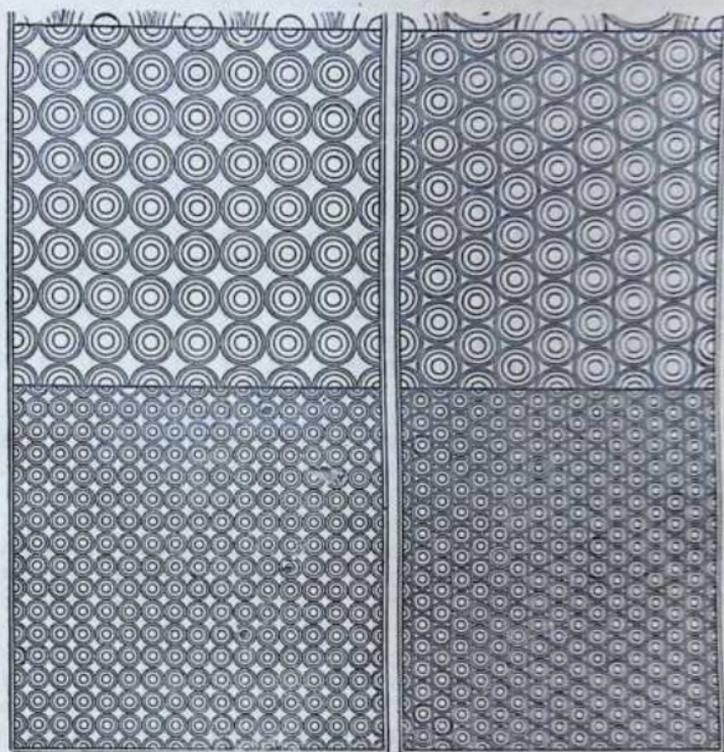


Рис. 76. Расположение сферических частиц, дающее максимальную (слева) и минимальную (справа) порозность.

со сферическими телами. Порозность в процентах вычисляется на основании следующего уравнения:

$$S = 100(1 - A_2/R_2), \quad (33)$$

где  $S$  — порозность в процентах,  
 $A_2$  — кажущийся удельный вес,  
 $R_2$  — истинный удельный вес.

**106. Водопроницаемость.** Весьма важным свойством почвы для практики орошения является способность ее пропускать воду, движущуюся под действием силы тяжести. Эта способность обычно именуется термином *водопроницаемость*. Вода, стоящая над хрящеватыми или грубо-песчанистыми почвами, настолько

быстро просачивается через них, что уровень воды будет снижаться на несколько сантиметров в час. С другой стороны, некоторые мелкоземистые глинистые почвы настолько трудно проницаемы для воды, что последняя может накапливаться и держаться над почвой, не впитываясь в нее в течение многих дней. Между этими двумя крайностями имеется много различных степеней водопроницаемости. Весьма удобно для выражения водопроницаемости пользоваться скоростью падения уровня воды в сантиметрах (в США единицей измерения служит фут) в час. Например, если гектар ровной земли в 9 часов покрыт слоем воды в 5 см, а в 10 часов глубина воды составляет лишь 2 см, водопроницаемость равняется 3 см в час (если пренебречь потерей через испарение). Несомненно, что для каждой почвы водопроницаемость слегка колеблется в зависимости от таких факторов, как температура и вязкость воды, но для практики орошения этими незначительными колебаниями можно пренебречь, как будет выяснено в дальнейшем изложении в связи с рассмотрением влияния водопроницаемости на методы орошения.

**107. Удельная водопроницаемость.** Ввиду того, что сила тяжести на единицу массы воды всегда действует в вертикальном направлении сверху вниз, ясно, что термин водопроницаемость, согласно приведенному выше определению, относится именно только к воде, передвигающейся вертикально вниз в условиях, в которых неуравновешенные силы давления не имеют значения или совершенно отсутствуют. По существу вода в почве может передвигаться в любом направлении в зависимости от направления равнодействующей силы, обуславливающей ее движение. Для того чтобы яснее различать скорость обычного передвижения воды вертикально вглубь в результате действия силы тяжести, обозначенной выше термином водопроницаемость, от скорости более сложного передвижения в любом направлении под воздействием других сил любой величины, вводится специальный термин удельная водопроницаемость. Определение его дано в гл. X, в которой рассматриваются принципы, управляющие передвижением воды в почвах.

**108. Мощность почв засушливых районов.** По сравнению с почвами влажных районов, почвы засушливых районов, как правило, относительно более мощны. Однако при орошении обычно недооценивается важность наличия достаточно мощных почв для запасаания оросительных вод. Несомненно, в орошаемых районах имеется много площадей с продуктивными маломощными почвами, подстилаемыми на глубине от 30 до 90 см грубым гравием, «хардпаном» (hardpan)<sup>1</sup> или другими образованиями, из которых растения мало или вовсе ничего не извлекают. Фермеру, орошающему маломощные почвы, вскоре приходится убедиться, что, с одной стороны, для поддержания нормального роста растений необходимо давать частые поливы и что, с другой стороны, при поливе таких почв, лежащих на грубом, пористом песке или хряще, происходят значительные потери влаги путем просачи-

<sup>1</sup> Плотная цементированная прослойка в почве.

вания вглубь. Многие почвы засушливых районов имеют значительную мощность — от 3 до 7,5 м и более. Эти мощные почвы при среднем механическом составе и легкой структуре позволяют растениям глубоко укорениться, обеспечивают запасание значительных количеств поливной воды и, следовательно, поддерживают удовлетворительный рост растений в течение сравнительно длительных межполивных периодов. Количество воды, фактически поглощенное и потребленное растениями для продукции данного урожая (например, 2 т люцерны), в действительности может быть одинаковым для растений, выращенных на мелкой и глубокой почвах; тем не менее все ирригаторы признают, что в течение вегетационного периода для орошения тех или других растений потребуется больше воды на маломощной почве, чем на мощной. Необходимость большого числа поливов и неизбежность больших потерь воды при каждом поливе на маломощных почвах являются причиной того, почему на этих почвах практическое потребление воды выше. Отношение мощности почвы к ее влагоемкости рассматривается ниже в гл. IX.

**109. Питательные вещества для растений.** Для обеспечения высоких и доброкачественных урожаев культурных растений, как во влажных, так и в сухих районах, почвы должны содержать известное количество доступных питательных веществ. Десять очень важных химических элементов существенны для роста растений, а именно: углерод, водород, кислород, азот, калий, кальций, железо, магний, фосфор и сера. Из этих десяти элементов в почвах засушливых районов азот, как общее правило, находится в недостатке вследствие изреженного травостоя дикой растительности на девственных землях. Растения поглощают азот в форме растворимых нитратов, растворенных в воде, входящей в почву в капиллярном состоянии. Для того чтобы в достаточной степени обеспечить растения азотом, необходимо, во-первых, чтобы орошаемые почвы содержали достаточное количество азотосодержащих органических веществ; последние могут быть доставлены в форме навоза или путем выращивания бобовых растений в качестве зеленого удобрения; и, во-вторых, чтобы влажность, структура и аэрация почвы были благоприятны для образования нитратов. Многими опытами убедительно доказано, что растения, выращенные на почвах, богатых доступными питательными веществами, потребляют сравнительно мало поливной воды для продукции данного урожая; напротив, растения, выращенные на почвах бедных, потребляют значительно больше воды для продукции такого же урожая. Поэтому весьма существенно в засушливых районах для достижения высокой продуктивности расходования воды при выращивании культурных растений уделять особое внимание поддержанию высокого плодородия почв. Вследствие малого количества осадков в засушливых районах просачивание воды вглубь сравнительно слабо, и поэтому сухие почвы обычно богаты наиболее важными питательными элементами, особенно кальцием, фосфором и калием. Легкая структура почв засушливых районов обеспечивает хорошую аэрацию до больших глубин, следовательно,

благоприятствует бактериальной деятельности на значительно больших глубинах, чем в почвах влажного климата.

**110. Избыток растворимых солей.** Условия засушливых районов, а именно малое количество осадков, сильное испарение и относительно слабое просачивание воды через почву, благоприятствуют наличию достаточного количества солей кальция, фосфора и калия, но одновременно приводят и к накоплению избыточного количества растворимых солей, замедляющих или задерживающих рост растений. Такое накопление избытка растворимых солей известно под названием засоления. Наиболее удобоусвояемые для растений питательные вещества, как, например, натриевая или калийная селитра, при избыточном накоплении в почве становятся вредными. Хотя засоленные почвы и характерны для засушливых районов, они далеко не являются общераспространенными в них. Имеется много площадей плодородных почв на западе США, которые никогда не страдали засолением. Мало того, по всей вероятности, на этих почвах никогда не встретятся или не будут накапливаться избыточные растворимые соли. Тем не менее засоленность несомненно является причиной бесплодия некоторых почв засушливых районов. Большая исследовательская работа была направлена на разрешение проблемы засоления на западе США. Воды ручьев и рек некоторых засушливых районов содержат значительные количества солей в зависимости от тех почв, по которым они протекают. Ввиду важного значения засоления, как одного из свойств почв засушливых районов, имеющего при том близкое отношение к практике орошения, гл. XI целиком посвящается детальному рассмотрению этого вопроса.

## ГЛАВА VIII

### ОСНОВНЫЕ ВЗАИМОТНОШЕНИЯ ПОЧВЫ И ВОДЫ

Значение влажности почвы для роста растений чрезвычайно велико. Избыточные количества воды в почве замедляют или задерживают рост растений, и в таком случае дренаж является существенной необходимостью для успешного ведения хозяйства. Бесплодие почв засушливых районов обычно обуславливается недостатком воды в почвах. Поэтому на орошение можно смотреть как на искусственный способ регулирования влажности почвы в целях создания оптимальных условий для роста растений. Совершенно верно, конечно, что орошение в первую очередь является мерой предупреждения недостатка воды в почве, но рациональная практика орошения, основанная на надежных знаниях основных взаимоотношений почвы и воды, одновременно является и орудием предупреждения или, во всяком случае, задержки появления избыточного количества влаги на орошаемых землях. Поэтому весьма желательно для исследователей, изучающих орошение, рассмотреть основные физические законы, влияющие на распределение, запасание и передвижение воды в ненасыщенных почвах. Эта вода обычно определяет собой термин влажность почвы.

Опыты физиков с несомненностью установили существование на малых расстояниях междумолекулярных сил значительной величины. Эти опыты также показывают, что междумолекулярные силы так быстро уменьшаются с увеличением расстояния, что ими можно пренебречь уже на расстоянии ничтожных долей миллиметра. Междумолекулярные силы обуславливают так называемые «капиллярные явления», представляющие особый интерес при изучении взаимоотношений почвы и воды. Близкое соприкосновение частиц почвы с частицами тонких водяных пленок вызывает возникновение очень значительных сил притяжения. Междумолекулярные силы и явление поверхностного натяжения представляют большой интерес для лиц, изучающих орошение.

**111. Виды и доступность почвенной влаги.** Почвенную влагу обычно разделяют на гигроскопическую, капиллярную и гравитационную. Гигроскопическая влага находится непосредственно на поверхности частиц и неспособна передвигаться под воздействием гравитационных и капиллярных сил. Капиллярная влага представляет тот избыток воды над гигроскопической влагой,

который заполняет капиллярные промежутки в почве и который, в противовес действию силы тяжести, удерживается в почве, допускающей беспрепятственное просачивание. Гравитационная влага — это тот избыток воды над гигроскопической и капиллярной, который свободно просачивается из почвы при наличии условий дренирования. Между этими тремя состояниями воды в почве не существует определенных границ. Коли-

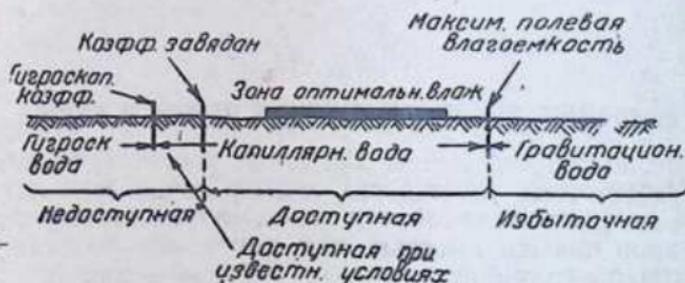


Рис. 77. Схематическое изображение состояний воды в почве и ее доступности растениям.

чественные соотношения их зависят от механического состава почвы, ее структуры, поверхностного натяжения воды, ее температуры и глубины рассматриваемого почвенного слоя. На рис. 77 представлены схематически три состояния воды в почве, а также приведены зоны оптимальной, недоступной, доступной и избыточной влаги в почве.

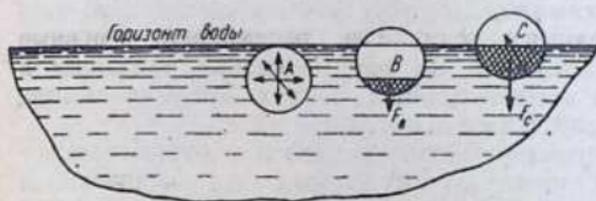


Рис. 78. Схематическое изображение поверхностного натяжения как результата действия неуравновешенных молекулярных сил.

**112. Поверхностное натяжение.** Явление поверхностного натяжения обусловливается неуравновешенными молекулярными силами. В любом объеме воды отдельные частицы внутри жидкости равномерно притягиваются во всех направлениях

другими частицами жидкости, как видно в точке A на рис. 78. Частицы же на поверхности воды, напротив, не притягиваются равномерно со всех сторон, так как молекулы воздуха, окружающие их, оказывают меньшее притяжение, чем внутренние частицы жидкости. Вследствие этого возникает притяжение внутрь в направлении, перпендикулярном к поверхности, как видно в точках B и C на том же рисунке.

**113. Пленочное давление<sup>1</sup>.** В гл. II было показано, что причиной тока воды в трубках могут быть силы, обусловленные различиями в давлении. Здесь необходимо обратить внимание на

<sup>1</sup> Давление поверхностного слоя жидкости.

тот факт, что передвижение капиллярной влаги обуславливается отчасти силами, возникающими вследствие различий в пленочном давлении. При изучении пленочного давления в ненасыщенных почвах нужно помнить, что поверхности соприкосновения воды — воздуха вогнуты в сторону воздуха и что в результате возникает отрицательное пленочное давление, тогда как гидростатические давления, рассмотренные в гл. II, положительны. Величина пленочного давления может быть определена при условии, что известны поверхностное натяжение вещества и кривизна пленки. Например, представим себе поверхность пленки в форме эллипсоида, как показано на рис. 79. Предположим, что эллипсоид рассечен сперва в плоскости бумаги, а затем в плоскости, перпендикулярной бумаге. Тогда величина пленочного давления в точке *A* будет находиться в зависимости от большего радиуса  $r_1$  и от меньшего радиуса  $r_2$ . Кроме того, она также будет зависеть и от величины поверхностного натяжения данного вещества. Давление ( $p$ ) выражается уравнением, хорошо известным физикам:

$$p = T(1/r_1 + 1/r_2), \quad (34)$$

где  $T$  представляет поверхностное натяжение вещества, из которого состоит пленка. Для сферической поверхности  $r_1 = r_2$ ; отсюда следует, что

$$p = 2T/r. \quad (35)$$

Это означает, что пленочное давление сферической поверхности равняется двойному поверхностному натяжению, деленному на радиус.

Принято выражать  $p$  в динах на кв. см, а  $T$  — в динах на см. В гл. II указывалось, что

$$p = wh,$$

где  $p$  — давление на единицу площади.

$w$  — вес (или сила) на единицу объема воды,

$h$  — высота столба воды над единицей площади.

Также верно, что

$$p = \rho gh,$$

где  $\rho$  — плотность, т. е. масса, на единицу объема,

$g$  — вес (или сила тяжести) на единицу массы,

$h$  — высота водного столба.

Заменяя в уравнении (35)  $p$  его значением, приведенным выше, получаем:

$$\rho gh = 2T/r,$$

отсюда в единицах метрической системы:

$$h = \frac{2T}{\rho gr} = \frac{2T}{1 \times 981 \times r} = \frac{2 \times 75.6}{981 r} = \frac{0.15}{r}. \quad (36)$$

Уравнение (36) дает высоту в см, до которой поднимается вода при  $0^\circ\text{C}$  в капиллярной трубке, радиус которой равен  $r$  см, при поверхностном натяжении, равном 75,6 дин на 1 см.

Применяя по существу те же самые рассуждения, которые обосновывают уравнение (36), по отношению к идеальным почвам, в которых капиллярные трубки имеют форму треугольника в поперечном сечении, Кин (Keen) показал, что максимальная высота поднятия воды в см выражается примерно следующим уравнением:

$$h = 0,75/r \text{ и } h = 1,5/d, \quad (37)$$

где  $r$  — радиус, а  $d$  — диаметр почвенных частиц в мм.

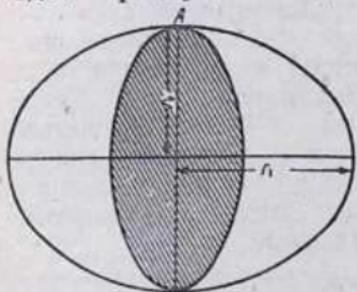


Рис. 79. Эллипсоидная поверхность для иллюстрации уравнения (34), дающего величину пленочного давления.

Вследствие большого разнообразия и изменений размеров капилляров фактическая высота под'ема воды капиллярными силами в естественных почвах обычно несколько ниже теоретической высоты, вычисленной по уравнению (37).

Ли (Lee) нашел, что капиллярный под'ем ограничивается 120 см в грубо песчаных почвах и 240 см в песчаных или глинистых почвах.

Мак Ги (Mc Gee) довольно общо указывает, что в средних условиях капиллярные силы свободно действуют на расстоянии в 120—150 см,

умеренно — на 300 см и медленно — на 9 и более метров.

Уравнение (37) показывает, что с уменьшением радиуса капиллярной водной пленки увеличивается давление пленки.

В связи с этим почвы того или иного механического состава или структуры, имеющие низкий процент капиллярной влаги, обуславливают низкое капиллярное давление. Эти факты упрощают наблюдаемые почвенно-водные взаимоотношения, как, например, распределение капиллярной влаги в почве над уровнем грунтовой воды.

**114. Условия равновесия почвенной влажности.** Представим себе единицу объема в пределах вертикального столба почвы высотой  $h_0$  над уровнем свободной воды, как видно на рис. 80. Под условиями равновесия подразумевается отсутствие неуравновешенных сил в пределах единицы объема почвы, а следовательно, и отсутствие передвижения влаги. Достигнуть состояния равновесия трудно. Для этого нужно в течение долгого времени поддерживать постоянную температуру и предотвращать испарение. Однако для разрешаемого в настоящей главе вопроса достаточно будет предположить, что состояние равновесия достигнуто.

Примем, далее, еще два условия:

а) что единица выбранного нами объема равняется 1 куб. см и б) что средняя влажность почвы в пределах данного кубического см равняется 20 объемным процентам. Тогда фактический вес воды в пределах одного куб. см будет равняться 0,2 г. Для удобства 0,2 г воды изображены в виде черного кубика влево от почвенного столба. Знающему физические законы сейчас же

станет ясно, что сила тяжести тянет 0,2 г воды книзу и что величина гравитационной силы равняется  $0,2 \times 980 = 196$  дин. Один кубический см почвы со всех сторон окружен почвой, содержащей капиллярную влагу, поэтому должна существовать капиллярная сила, тянущая книзу, как показано на рис. 80.

Но так как при состоянии равновесия отсутствуют неравновесные силы и нет капиллярного движения воды, то отсюда следует, что капиллярные силы, действующие на 0,2 г воды в направлении кверху, равны по величине сумме сил, действующих в направлении книзу, а именно — капиллярной и гравитационной сил.

Как видно из анализа в § 113, капиллярные силы относительно велики в почвах с низкой влажностью и относительно малы в почвах с высокой влажностью. Отсюда ясно, что влажность в верхней части выбранного нами куб. см должна быть меньше, чем в нижней части, иначе капиллярная сила, действующая кверху, не могла бы превзойти капиллярной силы, действующей книзу. Поэтому при состоянии равновесия в условиях увлажнения содержание капиллярной воды должно уменьшаться с увеличением высоты почвы над свободной водной поверхностью.

Выводы из приведенного выше анализа подтверждаются результатами измерений распределения капиллярной влаги в почвах.

При измерении распределения воды в разных почвенных колонках с малым поперечным сечением Мак Лаулин (Mc Laughlin) повторно находил, что капиллярная влажность различных почв, несколько дней спустя после приведения их в соприкосновение со свободной водой, уменьшалась с увеличением высоты над поверхностью воды, за исключением небольших неправильностей близ свободной водной поверхности. Типичная иллюстрация из работы Мак Лаулина приведена на рис. 81, изображающем распределение воды в вертикальном столбе почвы из Айдаго после того, как она 46 дней была в контакте с водой. Водная поверхность находилась на глубине 165 см (66") от поверхности почвенного столба. Начиная с высоты примерно в 38 см (15") над водной поверхностью, влаж-

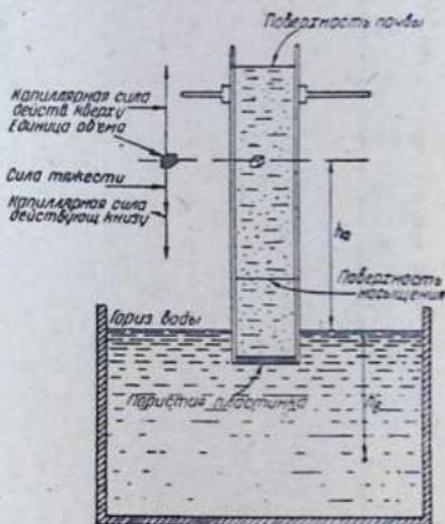


Рис. 80. Схематический чертеж, показывающий равновесие вертикальных сил, действующих на воду в любой единице объема почвы, в которой капиллярная вода находится в равновесии с грунтовой водой.

ность почвы с увеличением высоты постепенно уменьшалась от более чем 30 до 15 и менее процентов. Почему влажность почвы возрастала от поверхности воды до высоты в 38 см (15") — неясно. Вимейер, Израэльсен и Конрад (Veihmeyer, Israelsen and Conrad) изучали распределение влаги в тонком слое почвы после того, как он был подвержен действию цент-

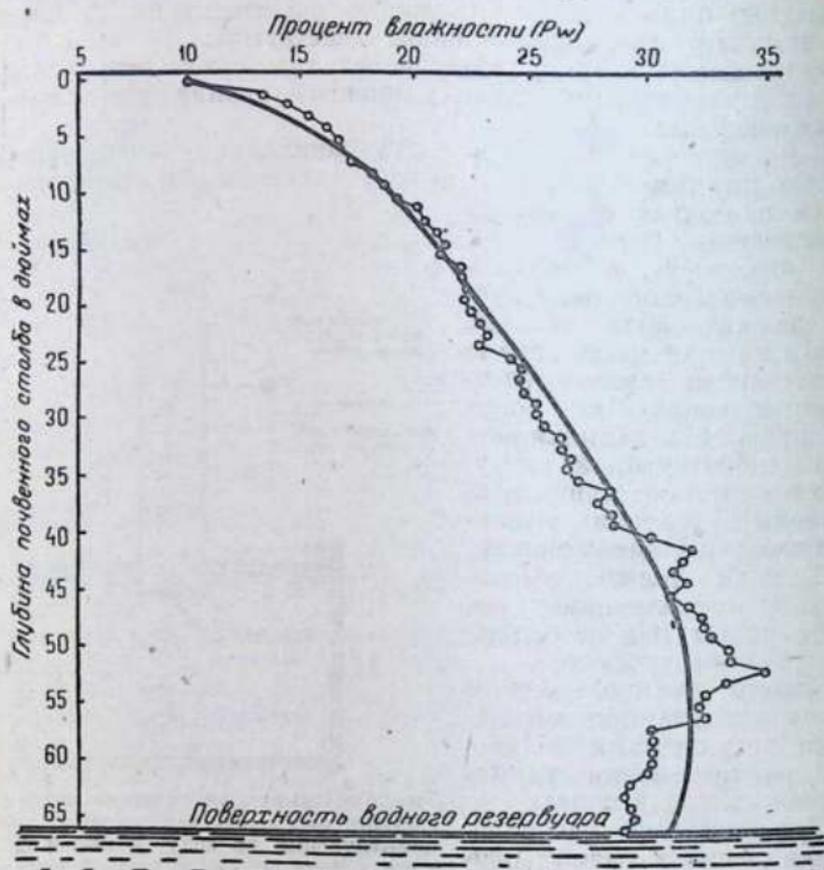


Рис. 81. Распределение капиллярной влаги в вертикальном почвенном столбе после 46 дней соприкосновения с поверхностью воды (из U. S. Dept. Agr. Bull. 1221).

робежной силы, в 1 000 раз превышающей силу тяжести в центрифуге для определения эквивалента влажности. Результаты их работы представлены на рис. 82. Внутренняя поверхность почвы (поверхность, ближайшая к оси центрифуги) представлена наверху рисунка, а наружная — внизу. При вращении массы почвы в машине гравитационная вода выбрасывается через продырявленную стенку, ограничивающую внешнюю поверхность почвенного столба. Рис. 82 показывает распределение капиллярной влаги, установившееся при создании состояния

равновесия с выбрасывающей силой центрифуги. Имеется определенное увеличение влажности от внутренней к внешней поверхности, аналогичное увеличению влажности по мере углубления в полевой почве, находящейся в состоянии равновесия.

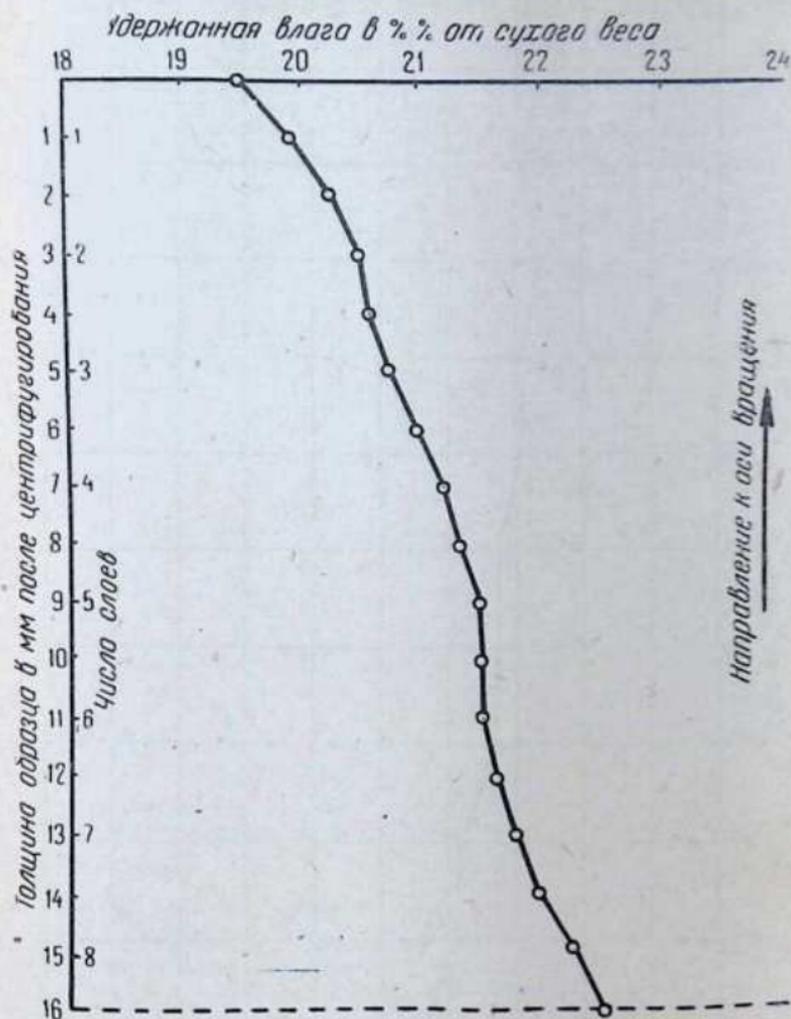


Рис. 82. Распределение влажности в 60-граммовой навеске суглинка после центрифугирования в 1000 гравитационных сил в течение получаса (из Calif. Agr. Exp. Sta. Tech. Paper № 16).

Выводы из приведенного выше анализа подтверждаются полевыми исследованиями по распределению влаги, произведенными автором настоящей книги. Содержание воды в верхних 360 см (12 футах) лишенной растительности почвы через 8 дней после полива, при внесении соответствующих поправок

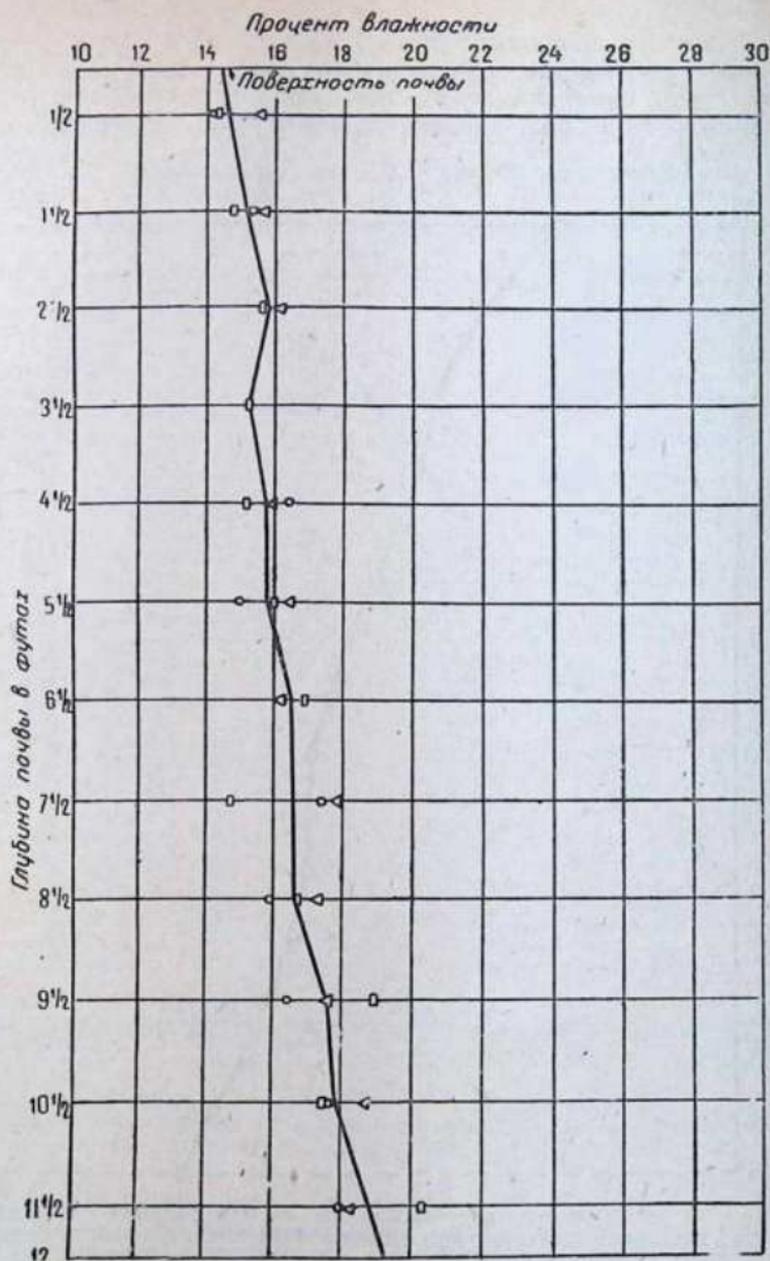


Рис. 83. Распределение влаги в почве через 68 дней после полива с поправками на разнообразие в механическом составе, представляющее, таким образом, распределение, которое имело бы место в почве однородного механического состава. Кружки показывают влажность на делянке, политой нормой в 12", треугольники показывают влажность после полива нормой в 24", прямоугольники — нормой в 36". Кривая — среднее для трех делянок (из Hilgardia, vol. 2, № 14).

на механический состав, обнаруживало заметное повышение с увеличением глубины. Среднее содержание воды в 3 различных деланках представлено на рис. 83.

#### 115. Механический состав почвы и условия равновесия воды.

На рис. 84 представлено вероятное распределение влажности в трех почвах различного механического состава в состоянии равновесия. Для удобства за исходную выбрана точка на насыщенной поверхности. На оси абсцисс представлены проценты капиллярной влаги, а на оси ординат — расстояния над насыщенной водой поверхностью. В основе изображенного на рис. 84 лежат три положения:

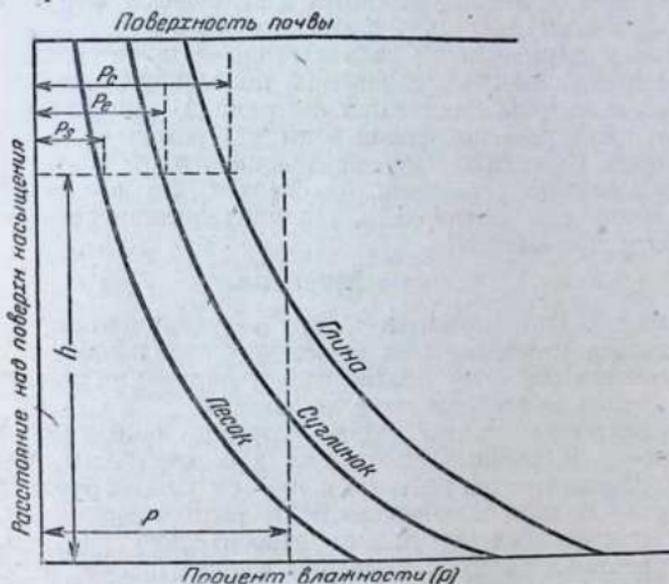


Рис. 84. Вероятное распределение капиллярной влаги в почвах различного механического состава при состоянии равновесия.

1. Что в условиях равновесия влажность почвы падает по мере увеличения расстояния от поверхности насыщения.
2. Что на данном расстоянии над насыщенной поверхностью, представленном буквой  $h$ , глинистая почва обладает более высоким процентом влажности, чем суглинок, и суглинок — более высоким, чем песок.
3. Что на любой высоте процент влажности ( $\rho$ ) при равновесии будет выше в глинистой, несколько ниже в суглинистой и еще ниже в песчаной почве.

Эти положения, схематически представленные на рис. 84, покоятся на основных законах поверхностного натяжения и давления пленок, как это видно из следующих соображений. Возьмем уравнение (36) в его общей формулировке:

$$h = 2 T / \rho g r. \quad (38)$$

В уравнении (36) плотность воды ( $\rho$ ) была принята за единицу, учитывая, что в свободной массе воды один куб. см весит 1 г. Однако в массе влажной почвы всегда имеется меньше 1 г воды на куб. см общего объема. Каждый куб. см в массе ненасыщенной влажной почвы частью заполнен твердыми почвенными частицами, частью водой в форме почвенной влаги и частью воздухом. Поэтому плотность воды во влажной почве определяется как масса воды в граммах на единицу объема в куб. см, т. е. общего пространства, занимаемого почвой, водой и воздухом.

Ясно, что плотность при таком понятии — величина изменчивая. Она всегда меньше единицы и колеблется в суглинке примерно от минимума в 10% до максимума в 50%.

В любой данной почве радиусы пор не представляют с течением времени заметных изменений, так что они могут считаться постоянными; точно так же при постоянной температуре поверхностное натяжение почвенной воды ( $T$ ) может считаться почти постоянным. Сила тяжести в определенной точке тоже постоянна. В связи с этим из уравнения (38) следует, что в условиях постоянной плотности почвы и в условиях равновесия почвенной влажности произведение

$$hr = \text{константа.} \quad (39)$$

Уравнение (39) показывает, что с увеличением  $h$  должна уменьшаться масса воды на единицу объема почвы, т. е.  $\rho$  должно уменьшаться, что подтверждает первое положение, изложенное выше и изображенное на рис. 84.

Мелкоземистые почвы имеют гораздо большую площадь поверхности почвенных частиц на куб. см почвы, чем почвы грубые. Данная масса воды ( $\rho$ ) в куб. см глины распределяется поэтому по большей поверхности, и радиус кривизны пленок между почвенными частицами относительно мал. Для того чтобы уравнивать радиусы кривизны водных пленок в глинистой и песчаной почвах, необходимо к первой добавить большее количество воды, чем ко второй. Или, выражаясь математически, для того чтобы сделать  $h$  постоянной при равновесии в почвах различного механического состава и различных радиусов пленок ( $r$ ), необходимо поддерживать постоянным произведение  $\rho r$ , в уравнении (38), а отсюда, так как  $r$  в глинистой почве меньше, чем  $r$  в песчаной,  $\rho$  должно быть больше. Для данной влажности почвы  $\rho$  постоянно. Следовательно, из уравнения (38) вытекает, что

$$hr = \text{константа.} \quad (40)$$

Из уравнения (40) ясно, что в глинистых почвах, в которых  $r$  относительно невелико,  $h$  должно быть относительно велико и, напротив, в песчаных почвах, с относительно большим  $r$ ,  $h$  должно быть мало, подтверждая, таким образом, третье приведенное выше положение.

Для данной почвенной влажности ( $\rho$ ) в суглинке высота при равновесии будет лежать между таковой для глины и песка,

так как диаметр частиц, а вместе с тем и радиусы кривизны пленок влаги в суглинке больше, чем в глине, и меньше, чем в песке.

**116. Константы почвенной влажности.** Количества влаги в почве при равновесии в разных состояниях насыщения обозначаются константами влажности почвы. К ним относятся:

- a) гигроскопический коэффициент,
- b) коэффициент завядания,
- c) эквивалент влажности,
- d) полевая капиллярная влагоемкость,
- e) полное насыщение.

Процент влаги\* в почве при различных константах влагоемкости почвы обычно выражается по отношению к сухому весу. Далее приводится краткое определение каждой из этих констант.

Под гигроскопическим коэффициентом подразумевается та влага, которую почва поглощает при данной температуре в насыщенной атмосфере.<sup>1</sup> Лабораторные исследования последнего времени Линфорда (Linford) показали, что почва, помещенная в насыщенную атмосферу в темноте, в камере с постоянной температурой будет продолжать поглощать воду даже сверх коэффициента завядания, а также что точка равновесия, достигнутая при различных температурных условиях, зависит от интенсивности освещения. Результаты анализа Линфорда, основанные на законах механики, заставляют сомневаться в применимости гигроскопического коэффициента в качестве константы почвенной влажности.

Под коэффициентом завядания понимается процент влажности почвы, при котором у растений наступает длительное завядание, если не прибавляется воды в почву.

Более детально коэффициент завядания рассматривается в гл. XIII.

Эквивалент влажности означает процент воды, удерживаемый небольшой навеской почвы после ее центрифугирования в 1 000 гравитационных сил в течение получаса. Для того чтобы быть уверенным в возможности сравнивать определения эквивален-

<sup>1</sup> Теоретически, в сущности, неправильно понимать под гигроскопическим коэффициентом то количество воды, которое почва поглощает в насыщенной атмосфере. В насыщенной атмосфере, т. е. при 100% относительной влажности воздуха, сосущая сила последнего равняется 0. Чтобы быть в равновесии с таким воздухом, почва также должна обладать сосущей силой, равной 0, а это теоретически возможно только при полном насыщении ее водой. Практически обычно не наблюдается насыщения почвы при помещении ее в насыщенную атмосферу; дело в том, что после известного минимума насыщения равновесие достигается чрезвычайно медленно, не вызывая удивимых за короткий промежуток времени различий во влажности почвы ввиду того, что при влажностях выше так называемого гигроскопического коэффициента сосущая сила почвы очень незначительна. Митчерлихом в Германии принята в качестве константы влажности почвы так называемая «максимальная гигроскопичность», определяемая в вакуум-эксикаторе над 10% серной кислотой при определенных температурных условиях, т. е. в конкретных условиях, соответствующих определенной сосущей силе. Примеч. переводчика.

тов влажности, произведенные различными исследователями в разных лабораториях, необходимо, чтобы при проведении определений придерживались стандартной методики. Работа Вимейера, Израэльсена и Конрада «Влияние величины навески почвы на определение эквивалента влажности» показывает, что различия в величине навески почвы, а также и другие факторы обуславливают различия в эквиваленте влажности.

В хорошо дренированных почвах вода передвигается вниз относительно быстро во время полива и несколько часов после

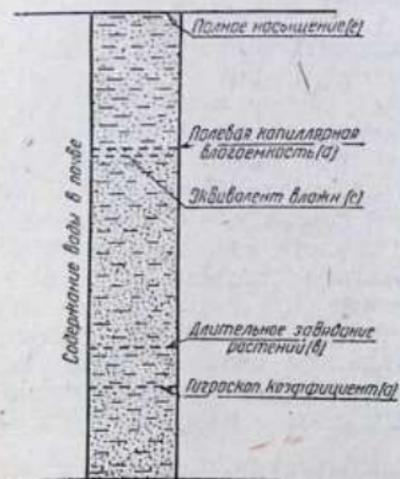


Рис. 85. Примерное соотношение величин констант почвенной влажности

него. Процент воды, удерживаемой такими почвами в какое-либо условно принятое время (например, в течение от одного до трех дней после полива), представляет полевую капиллярную влагоемкость. Как было показано в § 114 и на относящихся к нему рисунках, равновесное состояние полевой капиллярной влагоемкости на любой глубине почвы определяется расстоянием данной глубины от поверхности полного насыщения.

При полном насыщении мы имеем такое состояние влажности, при котором все поры в почве заполнены водой и весь воздух вытеснен.

Величина трех констант: а) (гигроскопического коэффициента, б) коэффициента завядания и с) эквивалента влажности зависит в значительной степени от механического состава почвы, тогда как величина двух последних констант — d) полевой капиллярной влагоемкости и e) полного насыщения — зависит как от механического состава, так и от сложения почвы. В общем можно сказать, что каждая из констант почвенной влажности относительно ниже в почвах грубого механического состава. Термин «константа влажности почвы» не вполне правильно передает вложенный в него смысл, так как в действительности количество воды при состоянии равновесия, например, при коэффициенте завядания, варьирует в зависимости от величины частиц. На рис. 85 приведено примерное соотношение величин разных констант почвенной влажности в одной из испытанных почв. Наличие высокого содержания органического вещества влияет на константы влажности почвы. Большинство поливных земель сравнительно бедно органическими веществами; отсюда следует, что главное внимание здесь должно быть обращено на влияние физических свойств, т. е. механического состава и структуры.

**117. Применение поливных норм в практике орошения.** Если полив отсрочивается надолго, влажность почвы снижается до коэффици-

ента завядания, растения страдают и снижают урожай. Метод определения наилучшего времени для полива рассматриваются в гл. XIII. Весьма важно для ирригатора иметь также сведения о том, как нужно применять поливные нормы, чтобы удовлетворить нуждам данных почв и культурных растений.

В орошаемых районах в большей мере, чем во влажных, почвы служат хранилищем воды, запасенной в день полива, для обеспечения нужд растений на ряд дней и недель. Если дать больше воды, чем почва может удержать за один раз, избыток пропадает даром. Если дать меньше, чем удерживает почва, растения могут пострадать от недостатка воды до следующей дачи воды, если поливы не будут даны чаще, чем требуется при достаточном насыщении почвы. Следующая глава посвящается вопросу о запасании поливных вод в почве.

## ГЛАВА IX

### НАКОПЛЕНИЕ ВОДЫ В ПОЧВАХ

Накопление воды в почвах важно и во влажных и в засушливых районах. То обстоятельство, что некоторые почвы влажных климатов дают урожаи, несмотря на промежутки во много дней, а иногда и недель между периодами осадков, указывает на водонакопляющую способность почв, так как все развивающиеся растения требуют влагу непрерывно. Скорость потребления воды вегетирующими растениями варьирует изо дня в день и из недели в неделю, но когда почва не может снабдить растения водой, рост задерживается и вскоре совершенно прекращается. Способность почвы накапливать воду для нужд растений представляет особый интерес и значение в орошаемых районах. Допустимый интервал между поливами в значительной степени зависит от водонакопляющей способности почвы. Мало того, на орошаемых почвах с относительно большой влагоемкостью могут быть значительные урожаи в таких местностях, где из-за недостатка поливных вод поливы производятся реже, чем это бывает необходимо. Потери воды в результате поверхностного стока могут быть легко подмечены и измерены, тогда как потери, являющиеся результатом просачивания вглубь за пределы корнеобитаемого слоя, не видны и могут быть подмечены лишь путем сравнения количества воды, заданного в один полив, с водонакопляющей способностью различных почв.

**118. Формы накопления воды.** В орошаемых районах вода сохраняется в почве как в форме капиллярной, так и в форме гравитационной. Как общее правило, сохранение в капиллярной форме имеет большее значение; однако в местностях, где снабжение водой осенью небольшое и специальные водохранилища не используются или экономически нецелесообразны, накопление воды в почве в форме гравитационной является иногда выгодным. Избыточное увлажнение с целью создания водного запаса может обусловить слишком высокий подъем грунтовых вод и тем самым повредить растениям ранней весной.

**119. Почвенный бур.** Очень желательно в орошаемом хозяйстве время от времени, путем просмотра или путем измерения, следить за влажностью почвы. Взятие почвенных проб с значительных глубин в засушливых районах весьма существенно для оценки условий влажности.

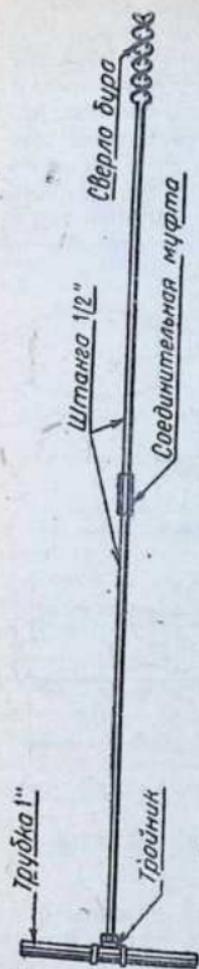


Рис. 86. Винтообразный почвенный бур (из California Agr. Exp. Sta. Circular 306).

Для взятия почвенных проб на влажность применяются два типа буров: один с винтообразным наконечником, который может быть изготовлен путем приспособления полуторадьюмового стального сверла, другой — с двухдюймовым наконечником наподобие бурава для выемки земли.

Винтообразный бур представлен на рис. 86. При изготовлении бура этого типа для бурения почвы стачивают кончик сверла и боковые режущие края. Этот бур легкий и удобен для переноса и для некоторых почв предпочтителен второму типу. При пользовании им на плотных почвах нужно избегать слишком глубокого бурения в один прием, так как бур может застрять. При употреблении бура второго типа нет этой опасности, так как после того, как он заполнится землей, его уже трудно продвинуть в почву.

Физические свойства почв не могут быть изучены удовлетворительно на основании одного только поверхностного осмотра. Необходимо изучение механического состава, структуры и глубины почвы в целях приспособления методов и практики орошения к ее потребностям. В этом отношении почвенные буры могут оказать большую помощь. Потери воды в мелких почвах путем просачивания вглубь могут быть уменьшены рациональным применением полива, когда имеются сведения о структуре, механическом составе и глубине почвы.

**120. Усовершенствованный почвенный бур.** Ф. Г. Кинг (F. H. King), один из американских пионеров почвоведения, изобрел и применял для взятия почвенных проб в поле сталь-

ной трубчатый бур. Последнее время почвенный бур Кинга был усовершенствован Вимейером (Veihmeier) и сотрудниками опытной станции в Калифорнии. После нескольких лет испытания различных буров в исследованиях по орошению и по влажности почвы Вимейер пришел к заключению, что наиболее точные и постоянные результаты дают почвенные пробы, полученные его усовершенствованным буром. В почвах, содержащих гравий, часто очень трудно, а иногда и невозможно,

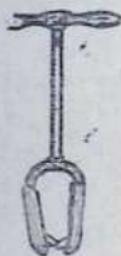


Рис. 87. Бур типа бурава для выемки земли. Буры этого типа, но малого диаметра, употребляются при изучении распределения иливных вод в почве.

получить пробы при помощи винтообразного бура, тогда как правильно сконструированный трубчатый бур может прорезать слой, содержащий гравий, и дать удовлетворительные образцы. Как видно на рис. 88, трубчатый бур состоит из трех частей: из стальной трубки без шва желаемой длины, головки для забивания и заостренного конца. На обоих концах трубки имеется нарезка для удобства прикрепления головки и наконечника. Для углубления бура в почву употребляется специальный молоток. При конструкции усовершенствованного бура особое внимание было уделено уменьшению всех затруднений

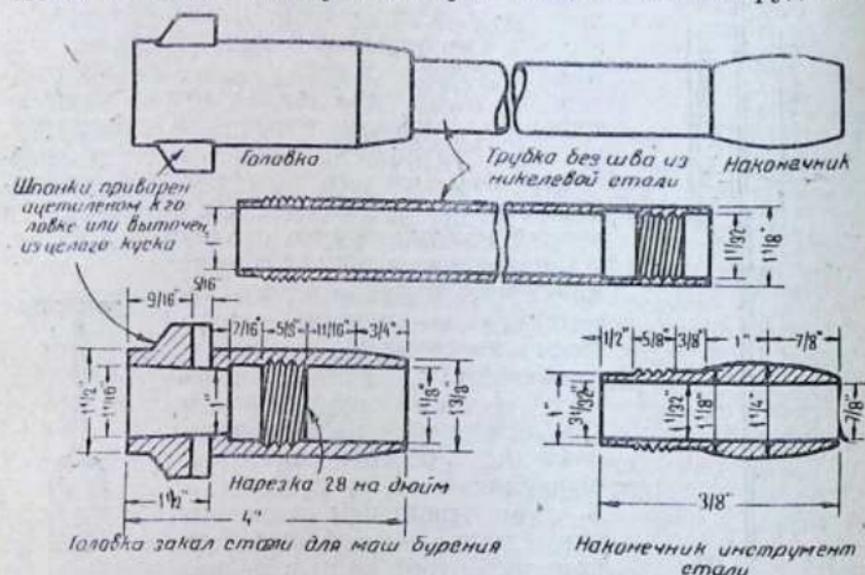


Рис. 88. Детали трубчатого бура для взятия почвенных проб (So Science, vol. 27, № 2).

при вытаскивании бура из почвы. Когда пробы должны быть извлечены с больших глубин — от 360 до 540 см, можно применять специальный прибор для вытаскивания. Один из таких приборов, сконструированный Тэйлором и Блэйней (Taylor and Blaney) из автомобильных домкратов, позволял им вытаскивать буры при взятии проб на глубинах в 5,5 м.

Усовершенствованный трубчатый бур в настоящее время широко применяется в Калифорнии. В местном университете при исследованиях влажности почвы пользуются почти исключительно этим буром. Он также широко применяется и мелиораторами при определении времени полива в плодовых садах<sup>1</sup>.

**121. Влажность почвы.** Для определения влажности почвы в полевых условиях бурят до желаемой глубины при помощи

<sup>1</sup> В СССР применяются почти исключительно трубчатые почвенные буры разных систем (Ротмистрова, Измаильского, Некрасова, Бурмачевского и др.), не уступающие буру Кинга—Вимейера и даже превосходящие его. Примеч. редакции.

почвенного бора. Взятые образцы влажной почвы, весом около 100 г, помещают в металлические стаканчики с плотно притертой пробкой и затем переносят в лабораторию для взвешивания и высушивания. Сушка взятых проб производится при 110°C до удаления всей влаги, т. е. до достижения постоянного веса. Потеря веса при сушке, равная весу воды в почве до сушки, деленная на вес сухой почвы, дает отношение веса воды к весу почвы. Умноженное на 100, оно представляет процент влажности по отношению к сухому весу, который в Америке принято обозначать —  $P_w$ . Например:

|                                 |       |
|---------------------------------|-------|
| Вес влажной почвы . . . . .     | 100 г |
| Вес сухой почвы . . . . .       | 80 >  |
| Потеря веса при сушке . . . . . | 20 >  |

Тогда  $P_w$ , т. е. процент влажности почвы по отношению к сухому весу, равен  $20/80 \times 100 = 25$ .

При измерении влажности почвы иногда за основание берется вес сырой почвы, т. е. в приведенном выше примере процент влажности к весу сырой почвы выразится:  $20/100 \times 100 = 20$ . Преимуществом применения веса сырой почвы в качестве основания является простота вычислений при условии, что берутся образцы весом в 100 г. В действительности, однако, применение веса сырой почвы, как основания для вычислений, нерационально, так как самое основание, к которому относятся вычисления, т. е. вес сырого образца почвы, варьирует с изменением влажности почвы<sup>1</sup>. Особенно вводят в заблуждение такие проценты влажности почвы для сильно увлажненных почв. Толкования значения и влияния различных количеств воды в почве как в отношении запаса воды, так и в отношении роста растений облегчаются при перечислении процента влажности с сухого веса почвы на объем. Процент, исчисленный из объема, определяется как объем воды на единицу объема промежутков между почвенными частицами. Например, если один куб. м почвы содержит  $\frac{1}{4}$  куб. м воздуха,  $\frac{1}{4}$  куб. м воды и  $\frac{1}{2}$  куб. м твердых почвенных частиц, процент влажности по отношению к объему, выраженный знаком  $P_v$ , равняется 25. Нерационально непосредственно измерять объем воды, содержащийся в единице объема почвы. При обычной сушке почвы в сушильном шкафу для удаления из нее влаги последняя выделяется в форме пара. Поэтому желательно перечислять процентную влажность, определенную по отношению к сухому весу ( $P_w$ ), в объемную ( $P_v$ ). Если применить символ  $A_v$  для выражения

<sup>1</sup> Упрощение вычисления достигается лишь при взятии пробы ровно в 100 г, между тем это вовсе не легко: при выравнивании количества почвы до веса 100 г приходится взвешивать непосредственно в поле, что не всегда осуществимо, или в лаборатории открывать крышку стаканчика, вследствие чего могут произойти значительные потери в весе за счет испарения воды из пробы, а также и влаги, испарившейся из пробы и осевшей на стенках и крышке, особенно если взвешивание производится не очень быстро после взятия образца. Примеч. переводчика.

кажущегося удельного веса почвы, то отношение  $P_v$  к  $P_w$  определится следующим образом:

$$P_v = \frac{\text{об'ем воды в почве}}{\text{общий об'ем, занимаемый почвой}}$$

и

$$P_w = \frac{\text{вес воды в почве}}{\text{вес сухой почвы.}}$$

Деля  $P_v$  на  $P_w$ , получаем:

$$\frac{P_v}{P_w} = \frac{\text{об'ем воды в почве}}{\text{общий об'ем, занимаемый почвой}} \times \frac{\text{сухой вес почвы}}{\text{вес воды в почве}}$$

Предположим для примера, что для определения содержания воды применяется 1 куб. м почвы и что он содержит 248 кг воды и 1274 кг сухой почвы. Зная, что 1 куб. м воды весит 1000 кг, следует, что

$$\frac{P_v}{P_w} = \frac{248/1000 \times 1274}{1 \times 248} = \frac{1275}{1000} = 1,28.$$

Кажущийся удельный вес почвы, выраженный символом  $A_s$ , как указано в гл. VII, определяется как отношение веса данного об'ема почвы, скажем 1 куб. м, к весу одинакового об'ема воды. В приведенном выше примере

$$A_s = \frac{1275}{1000} = 1,28,$$

и далее:

$$P_v = A_s P_w. \quad (41)$$

Пользуясь уравнением (41), в таблице 5 приведена вычисленная об'емная влажность, эквивалентная процентной влажности, вычисленной по отношению к сухому весу<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> Читатель вероятно заинтересуется следующим анализом. Пусть  $\rho_w$  — масса воды в единице об'ема, занятого почвой, воздухом и водой,  $\rho_s$  — плотность почвы, т. е. масса сухой почвы на единицу об'ема,  $P_w$  — масса воды на единицу массы сухой почвы.

Указанные выше величины имеют физические размеры длины ( $L$ ), массы ( $M$ ) и времени ( $T$ ); применяя подстрочный значок ( $w$ ), чтобы обозначать воду и ( $s$ ), чтобы обозначать массу почвы, имеем:

$$\rho_w = \frac{M_w}{L^3}, \quad \rho_s = \frac{M_s}{L^3}, \quad P_w = \frac{M_w}{M_s}.$$

Деля  $\rho_w$  на  $P_w$ , получаем:

$$\frac{\rho_w}{P_w} = \frac{M_w}{L^3} \times \frac{M_s}{M_w} = \frac{M_s}{L^3} = \rho_s,$$

откуда

$$\rho_w = P_w \rho_s. \quad (41a)$$

Величина  $P_w$  имеет нулевую размерность, будучи отношением массы к массе [а также и веса к весу, как применялось в уравнении (41)], и далее  $\rho_w = P_w$  уравнения (41), численно,

и

$\rho_s = A_s$  уравнения (41), численно, в *C. G. S.* (см/г/сек) единицах.

ТАБЛИЦА 5

ВЛАЖНОСТЬ В ПРОЦЕНТАХ ОТ ОБЪЕМА ( $P_v$ ), СООТВЕТСТВУЮЩАЯ РАЗЛИЧНЫМ ПРОЦЕНТАМ ОТ СУХОГО ВЕСА ( $P_w$ ), ДЛЯ ПОЧВ С РАЗЛИЧНЫМ КАЖУЩИМСЯ УДЕЛЬНЫМ ВЕСОМ ( $A_s$ ) НА ОСНОВЕ УРАВНЕНИЯ (41)  $P_v = A_s P_w$

| $P_w$ — влажность в процентах от сухого веса | Кажущийся удельный вес почвы ( $A_s$ ) |       |       |       |       |       |       |       |
|--|--|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|  | 1,1                                    | 1,2   | 1,3   | 1,4   | 1,5   | 1,6   | 1,7   | 1,8   |
| 1,0  | 1,10                                   | 1,20  | 1,30  | 1,40  | 1,50  | 1,60  | 1,70  | 1,80  |
| 1,2  | 1,32                                   | 1,44  | 1,56  | 1,68  | 1,80  | 1,92  | 2,04  | 2,16  |
| 1,4  | 1,54                                   | 1,68  | 1,82  | 1,96  | 2,10  | 2,24  | 2,38  | 2,52  |
| 1,6  | 1,76                                   | 1,92  | 2,08  | 2,24  | 2,40  | 2,56  | 2,72  | 2,88  |
| 1,8  | 1,98                                   | 2,16  | 2,34  | 2,52  | 2,70  | 2,88  | 3,06  | 3,24  |
| 2,0  | 2,20                                   | 2,40  | 2,60  | 2,80  | 3,00  | 3,20  | 3,40  | 3,60  |
| 2,2  | 2,42                                   | 2,64  | 2,86  | 3,08  | 3,30  | 3,52  | 3,74  | 3,96  |
| 2,4  | 2,64                                   | 2,88  | 3,12  | 3,36  | 3,60  | 3,84  | 4,08  | 4,32  |
| 2,6  | 2,86                                   | 3,12  | 3,33  | 3,64  | 3,90  | 4,16  | 4,42  | 4,68  |
| 2,8  | 3,08                                   | 3,36  | 3,64  | 3,92  | 4,20  | 4,48  | 4,76  | 5,04  |
| 3,0  | 3,30                                   | 3,60  | 3,90  | 4,20  | 4,50  | 4,80  | 5,10  | 5,40  |
| 3,2  | 3,52                                   | 3,84  | 4,16  | 4,48  | 4,80  | 5,12  | 5,44  | 5,76  |
| 3,4  | 3,74                                   | 4,08  | 4,42  | 4,76  | 5,10  | 5,44  | 5,78  | 6,12  |
| 3,6  | 3,96                                   | 4,32  | 4,68  | 5,04  | 5,40  | 5,76  | 6,12  | 6,48  |
| 3,8  | 4,18                                   | 4,56  | 4,94  | 5,32  | 5,70  | 6,08  | 6,46  | 6,84  |
| 4,0  | 4,40                                   | 4,80  | 5,20  | 5,60  | 6,00  | 6,40  | 6,80  | 7,20  |
| 4,2  | 4,62                                   | 5,04  | 5,46  | 5,88  | 6,30  | 6,72  | 7,14  | 7,56  |
| 4,4  | 4,84                                   | 5,28  | 5,72  | 6,16  | 6,60  | 7,04  | 7,48  | 7,92  |
| 4,6  | 5,06                                   | 5,52  | 5,98  | 6,44  | 6,90  | 7,36  | 7,82  | 8,28  |
| 4,8  | 5,28                                   | 5,76  | 6,24  | 6,72  | 7,20  | 7,68  | 8,16  | 8,64  |
| 5,0  | 5,50                                   | 6,00  | 6,50  | 7,00  | 7,50  | 8,00  | 8,50  | 9,00  |
| 5,2  | 5,72                                   | 6,24  | 6,76  | 7,28  | 7,80  | 8,32  | 8,84  | 9,36  |
| 5,4  | 5,94                                   | 6,48  | 7,02  | 7,56  | 8,10  | 8,64  | 9,18  | 9,72  |
| 5,6  | 6,16                                   | 6,72  | 7,28  | 7,84  | 8,40  | 8,96  | 9,52  | 10,08 |
| 5,8  | 6,38                                   | 6,96  | 7,54  | 8,12  | 8,70  | 9,28  | 9,86  | 10,44 |
| 6,0  | 6,60                                   | 7,20  | 7,80  | 8,40  | 9,00  | 9,60  | 10,20 | 10,80 |
| 6,2  | 6,82                                   | 7,44  | 8,06  | 8,68  | 9,30  | 9,92  | 10,54 | 11,16 |
| 6,4  | 7,04                                   | 7,68  | 8,32  | 8,96  | 9,60  | 10,24 | 10,88 | 11,52 |
| 6,6  | 7,26                                   | 7,92  | 8,58  | 9,24  | 9,90  | 10,56 | 11,22 | 11,88 |
| 6,8  | 7,48                                   | 8,16  | 8,84  | 9,52  | 10,20 | 10,88 | 11,56 | 12,24 |
| 7,0  | 7,70                                   | 8,40  | 9,10  | 9,80  | 10,50 | 11,20 | 11,90 | 12,60 |
| 7,2  | 7,92                                   | 8,64  | 9,36  | 10,08 | 10,80 | 11,52 | 12,24 | 12,96 |
| 7,4  | 8,14                                   | 8,88  | 9,62  | 10,36 | 11,10 | 11,84 | 12,58 | 13,32 |
| 7,6  | 8,36                                   | 9,12  | 9,88  | 10,64 | 11,40 | 12,16 | 12,92 | 13,68 |
| 7,8  | 8,58                                   | 9,36  | 10,14 | 10,92 | 11,70 | 12,48 | 13,20 | 14,04 |
| 8,0  | 8,80                                   | 9,60  | 10,40 | 11,20 | 12,00 | 12,80 | 13,60 | 14,40 |
| 8,2  | 9,02                                   | 9,84  | 10,66 | 11,48 | 12,30 | 13,12 | 13,94 | 14,76 |
| 8,4  | 9,24                                   | 10,08 | 10,92 | 11,76 | 12,60 | 13,44 | 14,28 | 15,12 |
| 8,6  | 9,46                                   | 10,32 | 11,18 | 12,04 | 12,90 | 13,76 | 14,62 | 15,48 |
| 8,8  | 9,68                                   | 10,56 | 11,44 | 12,32 | 13,20 | 14,08 | 14,96 | 15,84 |
| 9,0  | 9,90                                   | 10,80 | 11,70 | 12,60 | 13,50 | 14,40 | 15,30 | 16,20 |
| 9,2  | 10,12                                  | 11,04 | 11,96 | 12,88 | 13,80 | 14,72 | 15,64 | 16,56 |
| 9,4  | 10,34                                  | 11,28 | 12,22 | 13,16 | 14,10 | 15,04 | 15,98 | 16,92 |
| 9,6  | 10,56                                  | 11,52 | 12,48 | 13,44 | 14,40 | 15,36 | 16,32 | 17,28 |
| 9,8  | 10,78                                  | 11,76 | 12,74 | 13,72 | 14,70 | 15,68 | 16,66 | 17,64 |

**122. Капиллярная влагоемкость.** Количество воды, которое хорошо дренированная почва удерживает против действия силы тяжести в течение любого времени после насыщения, называется капиллярной влагоемкостью. Последняя в значительной степени зависит от механического состава и структуры почвы и содержания в ней органических веществ. Исследования последнего времени показали, что капиллярная влагоемкость в условиях равновесия зависит также от высоты уровня грунтовой воды. В полевых условиях сомнительно, чтобы когда-либо существовало равновесие между неуравновешенными капиллярными силами и силой тяжести.

В полевых условиях имеется столько изменяющихся факторов, и в первую очередь испарение и поглощение воды растущими растениями, что несомненно влага в орошаемой почве находится в постоянном движении в течение вегетации. Однако скорость передвижения воды весьма различна в зависимости от влажности почвы. Хотя динамические свойства влажности почвы очень затрудняют точное определение полевой капиллярной влагоемкости, однако все же возможно до известной степени установить ее путем измерения влажности почвы. Методы и приемы определенных, иллюстрированные типичными примерами, изложены в § 124.

Для обозначения полевой капиллярной влагоемкости применяется также термин «удельная водоудерживающая способность почвы». Этот термин был предложен Мейнцером (Meinzer) и определялся им, как «отношение (1) объема воды, удерживаемой предварительно насыщенной влагой почвой или горной породой, против действия силы тяжести к (2) объему самой почвы или горной породы». Удельная водоудерживающая способность может быть выражена в процентах по отношению как к объему ( $P_v$ ), так и к весу ( $P_w$ ). Из уравнения (41) явствует, что удельная водоудерживающая способность по отношению к сухому весу, помноженная на кажущийся удельный вес, равняется объемной удельной водоудерживающей способности или капиллярной влагоемкости.

**123. Основы накопления влаги в почве.** При наличии данных о капиллярной влагоемкости почвы достаточно определить влагоемкость почвы до полива, чтобы на основе разности примерно установить процент воды, который может быть накоплен. Пусть  $P'_w$  — средний процент влажности по отношению к сухому весу, который может быть запасен, т. е. процент капиллярной влагоемкости минус процент влажности до орошения,  $W$  — сухой вес почвы в кг, которая должна быть смочена,  $w$  — вес воды в кг, необходимой для увлажнения почвы,

тогда

$$\frac{P'_w}{100} W = w.$$

Количество воды, задаваемое в один полив, обычно выражается в Америке в акро-дюймах или в акро-футах на акр или в эквивалентных единицах — «поверхностных дюймах» или

«поверхностных футах». Так, например, если 6 акро-дюймов равномерно распределены на 1 акре, глубина будет 6", или 0,5 футов<sup>1</sup>. В действительности, однако, при даче полива в  $\frac{1}{2}$  акро-фута последний принимается за  $\frac{1}{2}$  фута, независимо от равномерности распределения влаги по поверхности.

Пусть  $A$  — площадь орошенного участка в кв. футах,  
 $A_s$  — кажущийся удельный вес почвы, т. е. отношение веса 1 куб. фута сухой почвы к 62,4, т. е. к весу одного куб. фута воды в англ. фунтах,  
 $d$  — глубина полива в футах,  
 $D$  — глубина в футах почвы, которая должна быть увлажнена.

Тогда вес почвы, которая должна быть увлажнена, равняется:

$$W = 62,4 A_s \cdot A \cdot D \text{ фунта,}$$

а вес воды, необходимой для полива, равняется:

$$w = 62,4 d \cdot A \text{ фунта.}$$

Заменяя  $W$  и  $w$  в приведенном выше уравнении, получим:

$$62,4 \frac{P'}{100} A_s AD = 62,4 dA,$$

откуда

$$d = \frac{P'}{100} A_s D. \quad (42)$$

При применении уравнения (42)  $d$  может быть выражено в дюймах в том случае, если и  $D$  выражено в дюймах.

Предположим, например, что необходимо на участке с люцерной добавить в среднем 5% влаги в верхних 4 футах (120 см) почвы, кажущийся удельный вес которой равен 1,4. Тогда

$$d = \frac{5}{100} \times 1,4 \times 4 = 0,28 \text{ футов} = 3,36".$$

Подобные задачи могут быть разрешены с достаточной точностью для практических целей, пользуясь таблицей 6.

<sup>1</sup> В СССР применяется метрическая система, в связи с чем полив обычно выражается в кубометрах на га, или в см, или мм глубины на единицу поверхности. 1 см глубины соответствует 100 куб. м на га. В вышеприведенном примере, т. е. 6 акро-дюймов или глубина в 6 дюймов равняется 15 см, или 1500 куб. м на га. Ввиду того, что в книге Израэльсена все таблицы и рисунки вычислены и вычерчены применительно к футам и акрам, сохраняем эту систему и при изложении формул. Примеч. переводчика.

ГЛУБИНА ПОЛИВНОЙ ВОДЫ В ДЮЙМАХ, НЕОБХОДИМАЯ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ПРОЦЕНТА ВЛАЖНОСТИ В СЛОЕ В 1 ФУТ ДЛЯ ПОЧВ С РАЗЛИЧНЫМ УДЕЛЬНЫМ ВЕСОМ. ОСНОВАНО НА УРАВНЕНИИ (42)  $d = \frac{P'w A_s D}{100}$

100

| Процент<br>влажно-<br>сти $P_w$ | Кажущийся удельный вес почвы ( $A_s$ ) |      |      |      |      |      |      |      |
|---------------------------------|--|------|------|------|------|------|------|------|
|                                 | 1,2                                    | 1,3  | 1,4  | 1,5  | 1,6  | 1,7  | 1,8  | 1,9  |
| 1,0                             | 0,14                                   | 0,16 | 0,17 | 0,18 | 0,19 | 0,20 | 0,22 | 0,23 |
| 1,2                             | 0,17                                   | 0,19 | 0,21 | 0,22 | 0,23 | 0,24 | 0,26 | 0,27 |
| 1,4                             | 0,20                                   | 0,22 | 0,24 | 0,25 | 0,27 | 0,29 | 0,30 | 0,32 |
| 1,6                             | 0,23                                   | 0,25 | 0,27 | 0,29 | 0,31 | 0,33 | 0,35 | 0,36 |
| 1,8                             | 0,26                                   | 0,28 | 0,30 | 0,32 | 0,34 | 0,37 | 0,39 | 0,41 |
| 2,0                             | 0,29                                   | 0,31 | 0,34 | 0,36 | 0,38 | 0,41 | 0,43 | 0,46 |
| 2,2                             | 0,32                                   | 0,34 | 0,37 | 0,40 | 0,42 | 0,45 | 0,47 | 0,50 |
| 2,4                             | 0,34                                   | 0,37 | 0,40 | 0,43 | 0,46 | 0,49 | 0,52 | 0,54 |
| 2,6                             | 0,37                                   | 0,41 | 0,44 | 0,47 | 0,50 | 0,53 | 0,56 | 0,59 |
| 2,8                             | 0,40                                   | 0,44 | 0,47 | 0,50 | 0,54 | 0,57 | 0,60 | 0,64 |
| 3,0                             | 0,43                                   | 0,47 | 0,50 | 0,54 | 0,58 | 0,61 | 0,65 | 0,68 |
| 3,2                             | 0,46                                   | 0,50 | 0,54 | 0,58 | 0,61 | 0,65 | 0,69 | 0,73 |
| 3,4                             | 0,49                                   | 0,53 | 0,57 | 0,61 | 0,65 | 0,69 | 0,73 | 0,77 |
| 3,6                             | 0,52                                   | 0,56 | 0,60 | 0,65 | 0,69 | 0,73 | 0,78 | 0,82 |
| 3,8                             | 0,55                                   | 0,59 | 0,64 | 0,68 | 0,73 | 0,77 | 0,82 | 0,87 |
| 4,0                             | 0,58                                   | 0,62 | 0,67 | 0,72 | 0,77 | 0,82 | 0,86 | 0,91 |
| 4,2                             | 0,60                                   | 0,65 | 0,71 | 0,76 | 0,81 | 0,86 | 0,91 | 0,96 |
| 4,4                             | 0,63                                   | 0,68 | 0,74 | 0,79 | 0,84 | 0,90 | 0,95 | 1,01 |
| 4,6                             | 0,66                                   | 0,72 | 0,77 | 0,82 | 0,88 | 0,94 | 0,99 | 1,05 |
| 4,8                             | 0,69                                   | 0,75 | 0,81 | 0,86 | 0,92 | 0,98 | 1,04 | 1,09 |
| 5,0                             | 0,72                                   | 0,78 | 0,84 | 0,90 | 0,96 | 1,02 | 1,08 | 1,14 |
| 5,2                             | 0,75                                   | 0,81 | 0,87 | 0,94 | 1,00 | 1,06 | 1,12 | 1,19 |
| 5,4                             | 0,78                                   | 0,84 | 0,91 | 0,97 | 1,04 | 1,10 | 1,16 | 1,23 |
| 5,6                             | 0,81                                   | 0,87 | 0,94 | 1,01 | 1,08 | 1,14 | 1,21 | 1,28 |
| 5,8                             | 0,83                                   | 0,90 | 0,97 | 1,04 | 1,11 | 1,18 | 1,25 | 1,32 |
| 6,0                             | 0,86                                   | 0,93 | 1,01 | 1,08 | 1,15 | 1,22 | 1,30 | 1,37 |
| 6,2                             | 0,89                                   | 0,97 | 1,04 | 1,12 | 1,19 | 1,26 | 1,34 | 1,41 |
| 6,4                             | 0,92                                   | 1,00 | 1,08 | 1,15 | 1,23 | 1,31 | 1,38 | 1,46 |
| 6,6                             | 0,95                                   | 1,03 | 1,11 | 1,19 | 1,27 | 1,35 | 1,43 | 1,50 |
| 6,8                             | 0,98                                   | 1,06 | 1,14 | 1,22 | 1,31 | 1,39 | 1,47 | 1,55 |
| 7,0                             | 1,01                                   | 1,09 | 1,18 | 1,26 | 1,34 | 1,43 | 1,51 | 1,60 |
| 7,2                             | 1,04                                   | 1,12 | 1,21 | 1,30 | 1,38 | 1,47 | 1,56 | 1,64 |
| 7,4                             | 1,07                                   | 1,15 | 1,24 | 1,33 | 1,42 | 1,51 | 1,60 | 1,69 |
| 7,6                             | 1,09                                   | 1,19 | 1,28 | 1,37 | 1,46 | 1,55 | 1,64 | 1,73 |
| 7,8                             | 1,12                                   | 1,22 | 1,31 | 1,40 | 1,50 | 1,59 | 1,68 | 1,78 |
| 8,0                             | 1,15                                   | 1,25 | 1,34 | 1,44 | 1,54 | 1,63 | 1,73 | 1,82 |
| 8,2                             | 1,18                                   | 1,28 | 1,38 | 1,48 | 1,57 | 1,67 | 1,77 | 1,87 |
| 8,4                             | 1,21                                   | 1,31 | 1,41 | 1,51 | 1,61 | 1,71 | 1,81 | 1,92 |
| 8,6                             | 1,24                                   | 1,34 | 1,44 | 1,55 | 1,65 | 1,75 | 1,86 | 1,96 |
| 8,8                             | 1,27                                   | 1,37 | 1,48 | 1,58 | 1,69 | 1,79 | 1,90 | 2,01 |
| 9,0                             | 1,30                                   | 1,40 | 1,51 | 1,62 | 1,73 | 1,84 | 1,94 | 2,05 |
| 9,2                             | 1,32                                   | 1,44 | 1,55 | 1,66 | 1,77 | 1,88 | 1,99 | 2,10 |
| 9,4                             | 1,35                                   | 1,47 | 1,58 | 1,69 | 1,81 | 1,92 | 2,03 | 2,14 |
| 9,6                             | 1,38                                   | 1,50 | 1,61 | 1,73 | 1,84 | 1,96 | 2,07 | 2,19 |
| 9,8                             | 1,41                                   | 1,53 | 1,65 | 1,76 | 1,88 | 2,00 | 2,12 | 2,23 |

**124. Определения полевой капиллярной влагоемкости.** При измерении капиллярной влагоемкости почвы в поле необходимо:

а) обеспечить полную капиллярную насыщенность путем добавления некоторого избыточного количества поливной воды;

б) уменьшить до минимума потери через испарение с поверхности сейчас же после полива;

в) устранить потери через транспирацию, пользуясь участками без растительности;

г) тщательно учитывать скорость уменьшения влажности путем повторных определений в различное время после полива;

е) выбрать участок для наблюдений в таком месте, где уровень грунтовой воды лежит на наибольшей глубине. Высокий уровень может значительно увеличить капиллярную влагоемкость в условиях равновесия.

Можно принять, что сильное просачивание воды вертикально вниз на совершенно затопленной делянке вполне обеспечит капиллярное насыщение поверхности почвы. В среднем объем пор в почве составляет около 50%. Поэтому, если желательнее обеспечить полное капиллярное насыщение верхних 2 м суглинистой почвы, необходимая глубина поливной воды может быть вычислена следующим образом: общий объем пустот в совершенно сухой почве равняется  $50/100 \times 2 = 1$  м. Определения влажности до затопления дают 16,6 см воды на 1 м глубины. Остающийся промежуток пустот занимает, следовательно, 33,4 см на 1 м, или 66,8 см на 2 м. Следовательно, полив в 66,8 см должен заполнить все пустоты на глубину 2 м в случае предотвращения просачивания. Это количество казалось бы должно обеспечить капиллярное насыщение.

Потери с поверхности через испарение сейчас же после затопления могут быть сведены до минимума применением толстой соломенной мульчи. Опыты, проведенные на глубоком суглинке в Логан в штате Юта, показали, что мульча из слоя соломы в 30 см толщины уменьшает испарение с поверхности до величины, которой вполне можно пренебречь.

Выбор момента после затопления, который можно считать характерным для определения капиллярной влагоемкости, очень труден. Скорость передвижения влаги вниз после затопления уменьшается изо дня в день и, тем не менее, она может продолжаться в течение многих дней. В действительности капиллярная влагоемкость представляет количество влаги, которая удерживается почвой после того, как прекратилось передвижение ее вниз под влиянием силы тяжести. В связи с медленным достижением состояния равновесия, необходимо для практических целей, хотя бы условно, наметить примерное время наступления капиллярной влагоемкости. В грубых песчаных почвах движение воды прекращается значительно быстрее, чем в глинистых почвах. Поэтому выбор времени после затопления может варьировать от одного до нескольких дней. Если намеченный промежуток слишком короток и состояние равновесия еще не достигнуто, наблюдаемая капиллярная влагоемкость будет больше действительной, при условии, ко-

нечно, что предотвращены потери через испарение и транспирацию. С другой стороны, если принять послеполивную влажность обильно орошенного участка за примерную капиллярную влагоемкость, возможно, что быстрые потери через испарение и транспирацию в первые дни после полива снизят влажность за пределы действительной капиллярной влагоемкости.

Анализ, данный в § 114, и распределение воды через 68 дней после полива, представленное на рис. 83, иллюстрируют положение, что при равновесии капиллярная влагоемкость верхних слоев почвы сравнительно высока, когда уровень грунтовой воды высок, и низка, когда последний низок. Точное соотношение между уравновешенной капиллярной влагоемкостью и глубиной уровня грунтовой воды, численно равное капиллярному потенциалу, для разных почв надлежит еще установить экспериментально. В настоящее же время общее положение об уменьшении равновесной капиллярной влагоемкости с увеличением расстояния до уровня грунтовой воды как будто вполне надежно. Как видно на рис. 89, повидимому, также и скорость уменьшения достигает наибольшей величины вблизи уровня грунтовой воды.

**125. Измерение водных запасов.** Сельскохозяйственные опытные станции западных штатов вместе с департаментом земледелия США произвели много измерений запасов воды в почвах.

Некоторые из этих измерений были произведены в связи с изучением орошения важнейших культурных растений. Другие производились на паровых участках с целью найти максимальное количество воды, которое может быть запасено в почве путем увеличения влажности от того минимума, который обычно имеется в поле, до полевой влагоемкости. Методика определенной полевой влагоемкости, указанная в § 124, может служить и для установления количества воды, которое может быть запасено в почве. После определения процента влажности почвы до и после орошения, соответствующая глубина воды может быть вычислена при помощи уравнения (42), если известен кажущийся удельный вес почвы. Глубина воды, найденная в форме почвенной влажности в любое время от одного до трех дней после полива, минус глубина до полива, дает примерную глубину водного слоя, который может быть запасен в форме капиллярной влажности.

В штатах Калифорния, Юта, Орегон и Вашингтон особое внимание уделялось изучению запаса воды в почвах. Ниже приводим кратко результаты некоторых из этих исследований.

**126. Исследования в Калифорнии.** В связи с изучением экономики потребности в воде люцерны в долине Сакраменто штата Калифорния, проведенным Адамсом (Adams) и др., в 1910—1915 гг. были произведены наблюдения над способностью почв удерживать поливные воды. Определения влажности почвы в этих исследованиях производились непосредственно до полива и от одного до четырех дней после полива. На всех делянках, на которых делались определения влажности, произрастала люцерна. Эти наблюдения не представляют точных измерений максималь-

ной полевой влагоемкости — скорее они показывают среднее количество поливной воды, запасенное в почвах различного механического состава в различное время после полива.

Для того чтобы перевести эти и подобные им определения

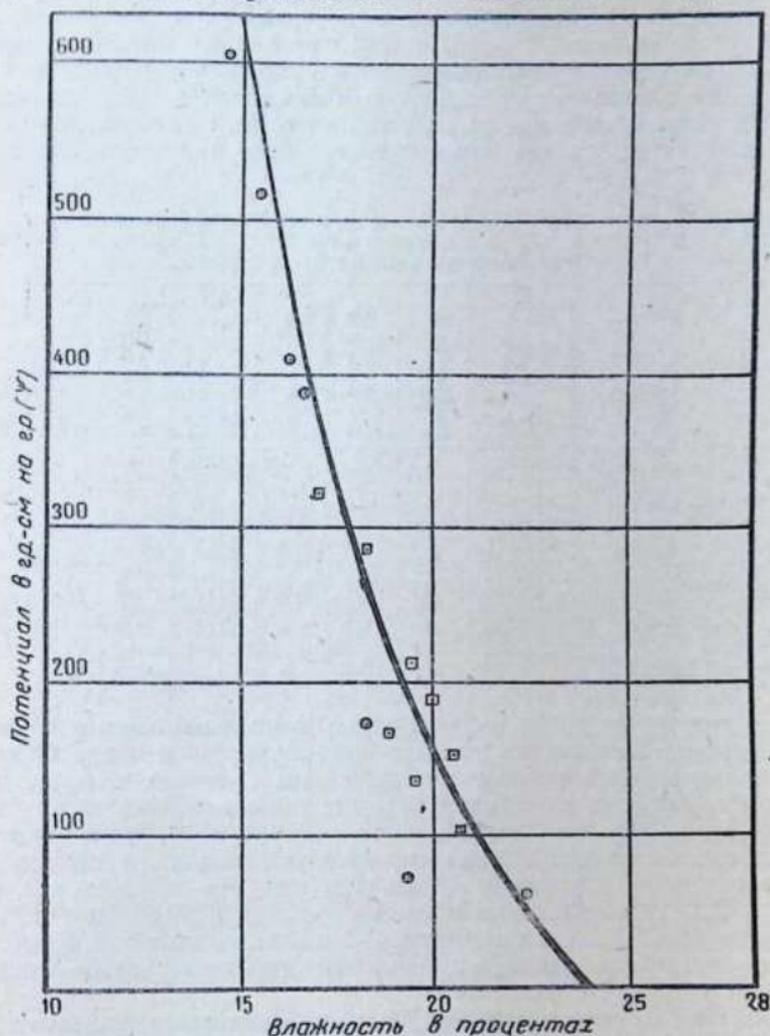


Рис. 89. Результаты лабораторных определений соотношения капиллярного потенциала ( $\Psi$ ) к % влажности (из Hilgardia, vol. 2, № 14).

влажности почвы на эквивалентные глубины заданной и удержанной воды, необходимо знать, как это было показано в § 125, кажущийся удельный вес почвы ( $A$ ). Для определения кажущегося удельного веса почв в естественных полевых условиях был

разработан специальный метод, применявшийся во всех хозяйствах, где производились наблюдения. Средние величины (А) для каждого типа почв приведены в таблице 7, которая включает данные по средней глубине воды, заданной при поливе, а также и по глубине воды, удержанной в верхних 180 см несколько дней после полива. В связи с тем, что на всех фермах выращивалась люцерна, была произведена оценка возможных потерь через испарение и транспирацию в промежуток времени между поливом и взятием пробы на влажность. Эти потери, добавленные к фактически удержанной воде, также приведены в табл. 7.

ТАБЛИЦА 7

ИССЛЕДОВАНИЯ В ДОЛИНЕ САКРАМЕНТО, ПОКАЗЫВАЮЩИЕ ДЛЯ ЧЕТЫРЕХ ТИПОВ ПОЧВ ЧИСЛО ПОЛИВОВ И СРЕДНЮЮ ГЛУБИНУ ЗАДАННОЙ И УДЕРЖАННОЙ ВОДЫ В ВЕРХНИХ 180 СМ ПОЧВЫ

| Типы почв                                 | Число орошений | Кануший удельный вес (A <sub>p</sub> ) | Среднее число поливов | Глубина заданной воды в см | Глубина удержанной воды в см | Глубина удержанной воды + испарение в см | Процент удержанной воды | Процент удержанной воды + испарение | Число хозяйств в каждой группе |
|---|----------------|--|-----------------------|----------------------------|------------------------------|--|-------------------------|-------------------------------------|--------------------------------|
| 1   | 2              | 3                                      | 4                     | 5                          | 6                            | 7  | 8                       | 9                                   | 10                             |
| Суглинки с супесчаной подпочвой . . . . . | 62             | 1,15                                   | 3,0                   | 37,6                       | 13,8                         | 16,5                                     | 36,8                    | 43,9                                | 2                              |
| Суглинки . . . . .                        | 87             | 1,31                                   | 3,3                   | 32,0                       | 10,6                         | 13,3                                     | 33,1                    | 41,5                                | 3                              |
| Средние глины . . . . .                   | 148            | 1,35                                   | 4,0                   | 21,0                       | 8,8                          | 11,4                                     | 39,8                    | 52,0                                | 5                              |
| Тяжелые глины . . . . .                   | 43             | 1,69                                   | 4,0                   | 11,8                       | 5,5                          | 8,2                                      | 46,8                    | 69,4                                | 2                              |

На рис. от 90 до 93 включительно приведены данные количества воды в дюймах на каждый фут почвы до и после полива. В почвах с более грубым механическим составом, т. е. в супесях и в илестых суглинках, бурения производились на глубину до 9 футов (270 см), как видно на рис. 90 и 91, тогда как на средних и тяжелых глинах определения влажности производились лишь на глубину 6 футов (180 см). На каждом рисунке приведен эквивалент влажности, определенный по методу Бриггса — Маклена (Briggs — Mc Lane), а также и объем пор, вычисленный на основе определений действительного и кажущегося удельного веса почв.

Сопоставление рисунков от 90 до 93 показывает, что поливная вода проникает за пределы 9 футов (270 см) на суглинках, глубже 6 футов (180 см) на глинистых почвах и не глубже 2 футов (60 см) на тяжелых глинах. Количество воздушных пустот, остающихся после полива, наибольшее в почвах грубого механического состава и наименьшее в почвах с мелкими частицами. В верхних 6 футах (180 см) суглинки с супесчаной подпочвой удерживали в среднем 2,73" воды на фут почвы (22,7 см на 1 м почвы), суглинки — 3,2" (26,8 см), глины 3,49" (29 см);

тяжелые глины не были полностью смочены вследствие недостаточного проникания поливной воды.

Среднее содержание воды в каждом футе (30 см) на шести опытных делянках университетской фермы в Дэвис в штате Калифорния до и после полива приведено на рис. 94. Каждая де-

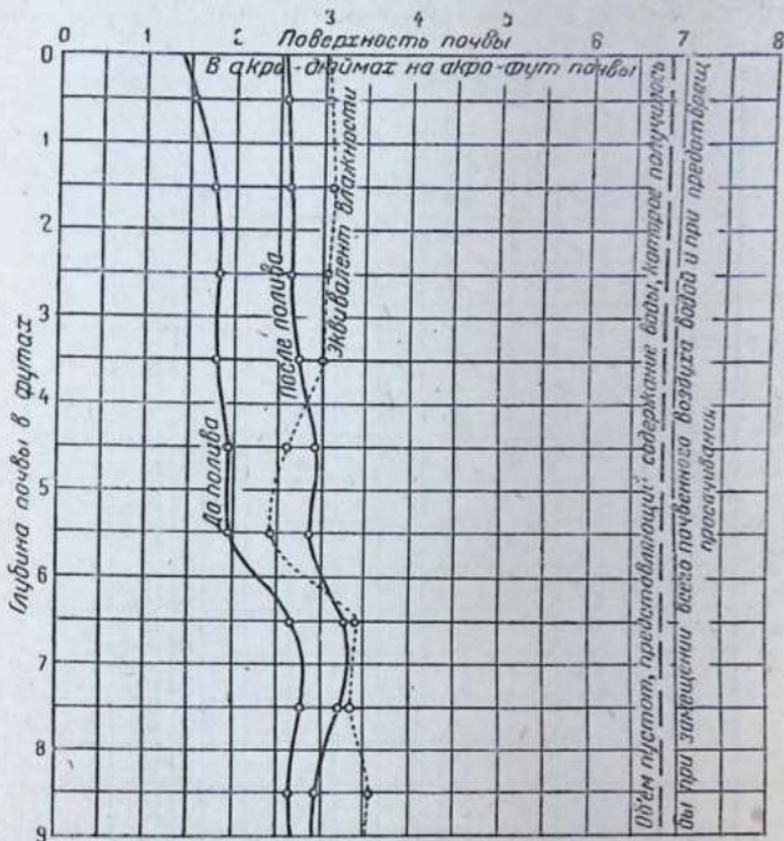


Рис. 90. График содержания воды до и после полива, эквивалент влажности и объем пор влистых суглинков с мелко супесчаной подпочвой. Каждая кривая содержания воды представляет собою среднее из 62 проб (рисунки 90—94 взяты из Journ. of Agr. Res, vol. 13, № 1).

лянка была полита по-разному, но наименьшая глубина задаваемой воды была 6" (15 см) при каждом поливе. Из рис. 94 ясно, что немного воды проникло и за пределы 12 футов (360 см). Однако данные для 10 и 12 футов (300 и 360 см) основаны на наблюдениях лишь одного года, и поэтому они менее точны, чем данные для первых 6 футов (180 см), которые основаны на работе трех лет и представляют среднее из 147 бурений. Цифры для глубин от 7 до 9 футов (от 210 до 270 см) основаны на данных двух лет работы. Заметное увеличение влажности за пре-

Делами 5,5 фута (165 см) глубины является, повидимому, по крайней мере — отчасти, результатом изменения механического состава, как видно из данных определений эквивалента влажности.

Вимейер и Гендриксон (Veihmeyer and Hendrickson) недавно опубликовали подробное исследование «эквивалента влажности как мерил полевой влагоемкости почв», на основании

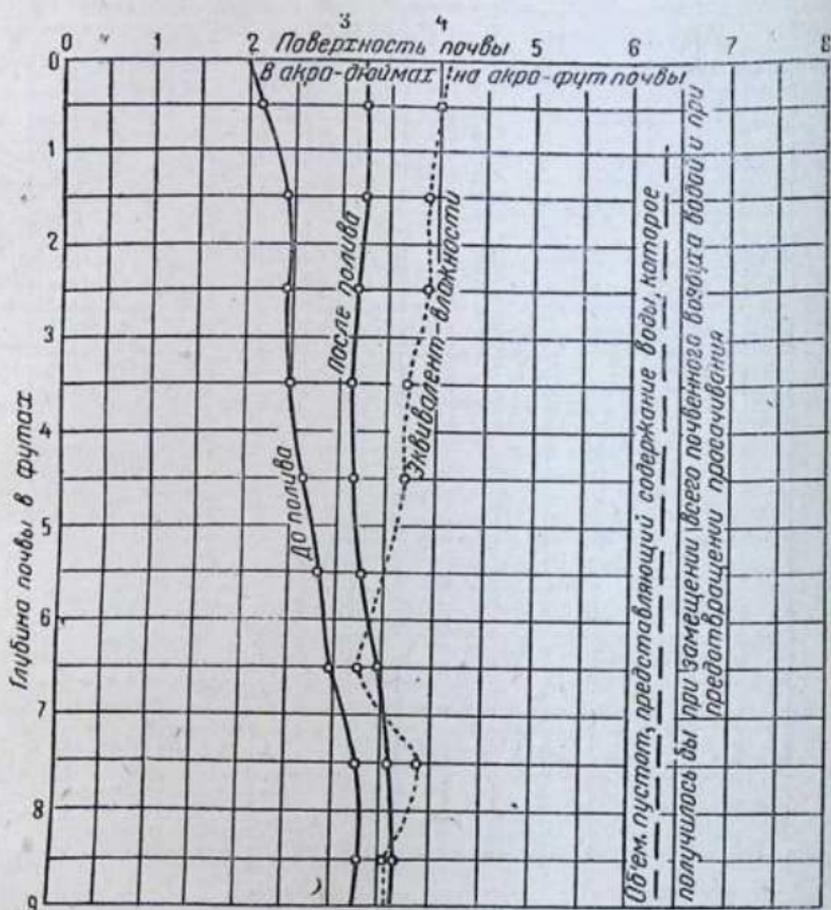


Рис. 91. Содержание воды до и после полива, эквивалент влажности и объем пор илистых суглинков. Каждая кривая содержания воды представляет собою среднее из 87 проб.

которого они пришли к заключению, что эквивалент влажности является хорошим мерил полевой влагоемкости для почв с тонким механическим составом, но не всегда пригоден для песчаных почв. Опыты, проведенные Вимейером и Гендриксоном, показывают, что эквивалент влажности может быть использован для оценки полевой влагоемкости глубоких дренированных почв без каких-нибудь определенных изменений механического состава или структуры с глубиной и имеющих эквивалент влажности, варьирующий примерно от 30 и до 12—14%.

127. Наблюдения в штате Юта. В 1919 г. опытная станция штата Юта провела ряд измерений капиллярной влагоемкости на глубоких суглинистых почвах на опытной ферме Гринвилль. Для устранения могущих возникнуть сомнений относительно неполноты насыщения, а также для удаления влияния травяного покрова были изготовлены три четырехугольных делянки — чека, которые были полны с избытком. Каждая делянка имела 11,4 м длины и 9,9 м ширины. Вокруг делянок были устроены насыпи около 60 см высоты из почвы, взятой с наружной стороны делянок, и, таким образом, почва на испытуемых делянках оставалась нетронутой. Делянки обозначались буквами А, В и С. Образцы почв были взяты для определения влажности до полива, после чего делянка А получила 12" воды (30 см), делянка В — 24" (60 см) и делянка С — 36" (90 см).

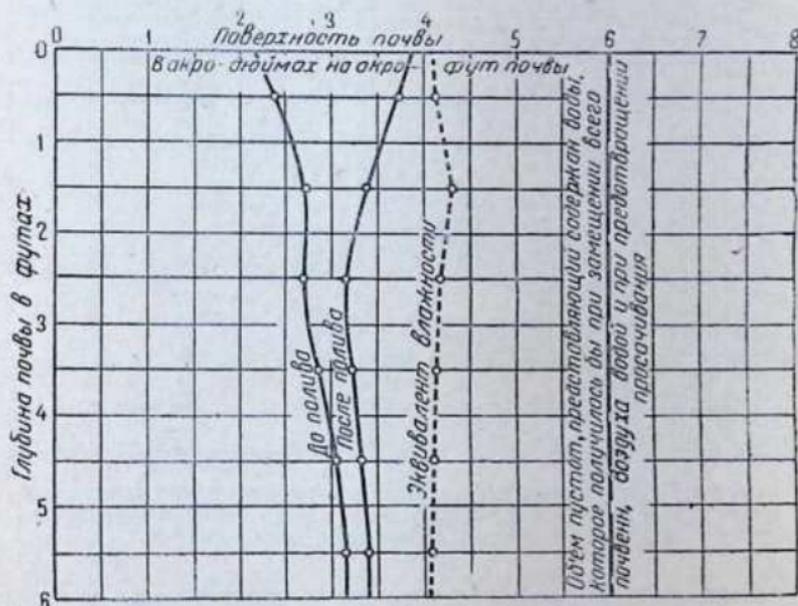


Рис. 92. Содержание воды до и после полива, эквивалент влажности и объем пор суглинистой почвы. Каждая кривая содержания воды представляет собою среднее из 148 проб.

Образцы для учета влажности почвы брались до глубины в 12 футов (360 см). Определения проводились в лаборатории обычным методом, результаты приведены в процентах к сухому весу почвы.

Почва представляла глубокий однородный суглинок с уровнем грунтовой воды на глубине 15 и более метров. Определения влажности, произведенные в 12 различных моментов, обнаруживают постепенное уменьшение капиллярной влаги после орошения на каждой из трех делянок А, В и С. Результаты представлены графически на рис. 95 в акро-дюймах на акр для различ-

ных глубин; влажность отложена на оси абсцисс, а время — на оси ординат. Определения производились за неравномерные промежутки времени, начиная с 16 июня и до 11 октября 1919 г. Всего было произведено 2556 определений, из которых 1476 за июнь, 468 за июль и 216 за август и сентябрь. Скважины располагались в определенном систематическом порядке и после бурения и засыпки отмечались колышками. На каждом колышке отмечалось время взятия пробы, и, таким образом, избегалось дублирование в расположении скважин.

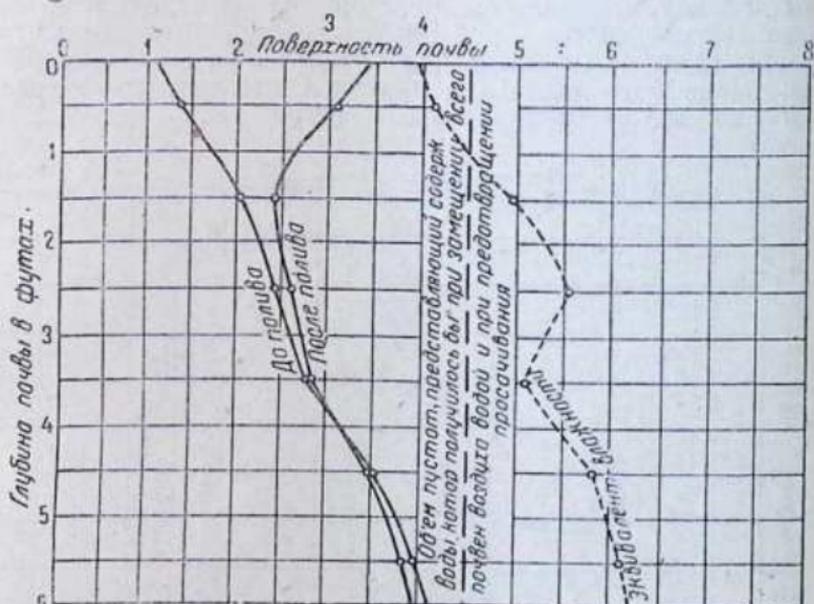


Рис. 93. Содержание воды до и после полива, эквивалент влажности и объем пор в тяжелых глинах. Каждая кривая содержания воды представляет собою среднее из 43 проб.

16 июня, сейчас же после того как поливной воды на поверхности почвы не оставалось, все делянки были покрыты слоем соломы толщиной от 20 до 25 см. Для определения потерь воды через солому на делянке 4 на уровне поверхности почвы под соломой был помещен эвапорометр с плоской чашкой  $30 \times 50$  см, наполненной землей. С 2 до 26 августа эвапорометр потерял 1294 г воды, что равняется 0,383 см глубины, или за день 0,035 см. Измерения убыли в верхних 180 см почвы содержания воды от 16 до 22 августа после вычета испаренной воды показывали потери воды с делянок А, В и С соответственно в 0,58, 0,64 и 0,71 см за сутки. Из этого ясно, что потери через испарение относительно ничтожны и уменьшение влажности почвы изодня в день на глубинах от 0 до 3 футов (от 0 до 90 см), а также от 4 до 6 футов (от 120 до 180 см) в основном обуславливалось просачиванием вниз капиллярной влаги. Из рис. 95 видно, что

заметное уменьшение влажности продолжалось около 15 дней на всех делянках в верхних 6 футах (180 см), а на делянках

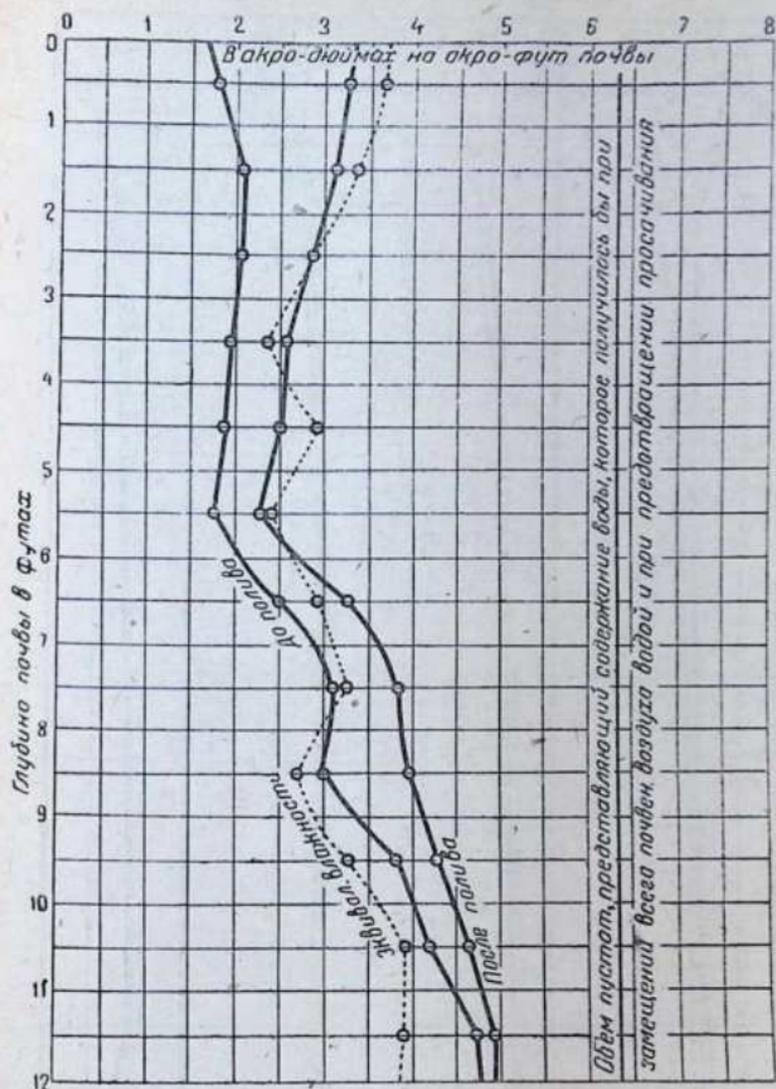


Рис. 94. График содержания воды до и после полива, эквивалент влажности и объем пор суглинистой почвы. Каждая кривая содержания воды представляет собой среднее из 147 проб с 6 делянок за 1913, 1914 и 1915 гг.

В и С убыль продолжалась за это же время и на глубинах в 7 и 9 футов (210 и 270 см).

На делянках В и С влажность на глубине от 10 до 12 футов

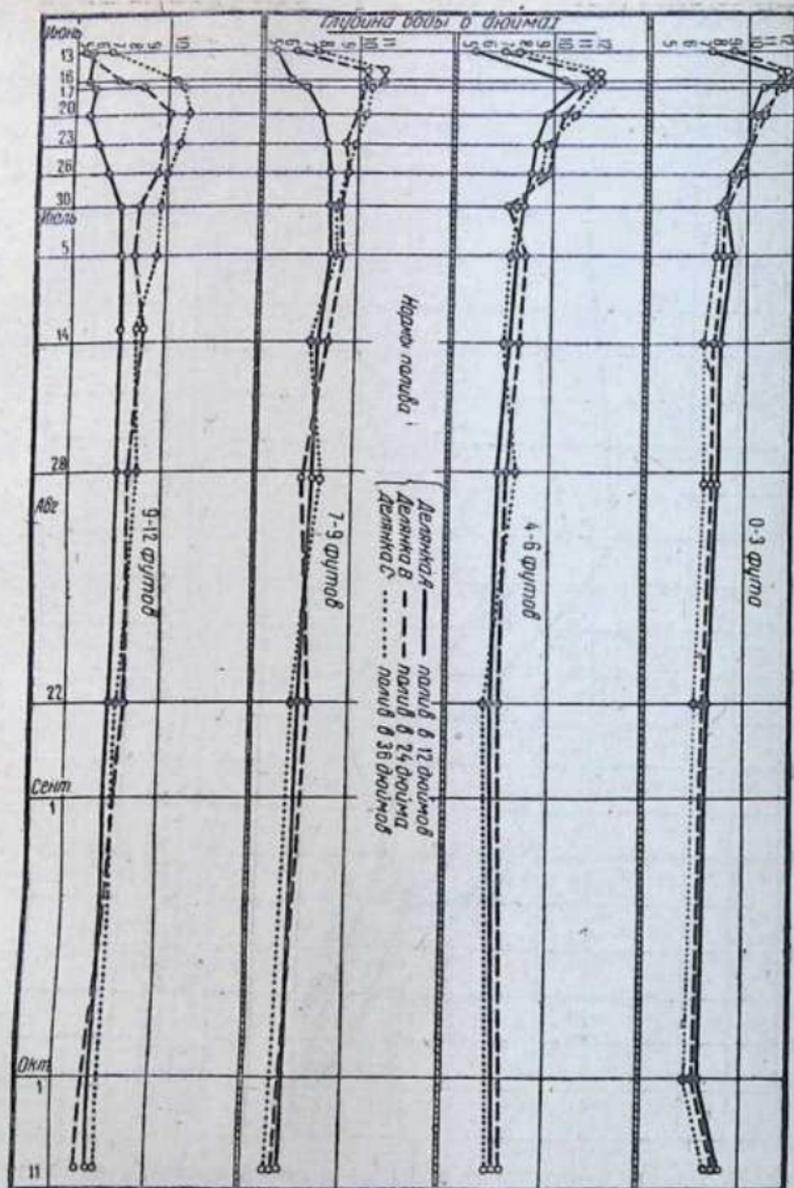


Рис. 95. Сравнительные кривые скорости изменения в содержании воды на одних и тех же глубинах почвы после трех различных норм полива. Результаты представлены в дюймах воды в каждой из четырех рассматриваемых глубин почвы (рисунки 95—98 взяты из Hilgardia, vol. 2, № 14).

(от 3 до 3,6 м) сперва несколько дней после полива увеличивалась, а затем начала медленно снижаться. В течение остальных 50 дней наблюдений изменения были совсем незначительны. Данные тех же опытов, показывающие распределение влаги на различных глубинах почвы каждой из делянок в различное время после полива, представлены на рис. от 96 до 98. Из рис. 96 видно, что полив в 12" (30 см) вполне увлажнил почву лишь до глубины 4½ футов (135 см) через два дня после полива, тогда как из рис. 97 видно, что полив в 24" (60 см) увлажнил почву полностью до глубины 8,5 футов (255 см), полив же в 36" (90 см), согласно рис. 98, уже один день спустя после его дачи увлажнил почву до глубины в 10,5 футов (315 см). Заслуживает внимания заметная убыль в содержании влаги в верхних нескольких футах на всех делянках за четыре дня после первых определенных влажности. Также нельзя не отметить, что через 6—7 дней после первого наблюдения влажность верхних слоев почвы снизилась примерно до состояния ее перед поливом, хотя испарение было в значительной степени предотвращено.

**128. Наблюдения в штате Вашингтон.** Влагоемкость возвышенных террасных почв долины Якима в штате Вашингтон была изучена Скофилдом и Райтом (Scofield and Wright) в течение 1924 и 1926 гг. На рис. 99 приведены данные о глубине слоя воды на каждый фут (30 см) почвы до глубины в 4 фута (120 см) как при длительном завядании люцерны, так и в три различных момента после затопления. Исследованная почва относится к супесям, эквивалент влажности ее равняется примерно 16%, или 2,65" воды на 1 фут почвы (22 см на 1 м). Для перечисления процентов влажности в дюймах воды на 1 фут почвы кажущийся удельный вес почвы был принят за 1,38. Необходимо отметить, что капиллярная влагоемкость на различных глубинах почв долины Якима достигает состояния равновесия через 24 часа после полива. Однако пробы на влажность в более поздние периоды показали, что значительное количество воды передвинулось вниз за пределы 3—4 футов (90—120 см) за время после первого дня, следующего за поливом. Этот факт как будто подтверждает сделанный ранее вывод о том, насколько трудно определить время после затопления, когда можно считать, что установилась полевая капиллярная влагоемкость. Действительно, при измерении влагоемкости почвы в отношении поливной воды приходится устанавливать этот момент условно.

**129. Заполнение капиллярных пор в почве.** В § 73 было показано, что

$$da = qt. \quad (32)$$

Если мы примем глубину  $d$  в уравнении (32) за глубину равномерно распределенного по поверхности слоя воды, необходимого для заполнения капиллярных пор в почве или для насыщения капиллярной влагоемкости почвы на заданную глубину в футах



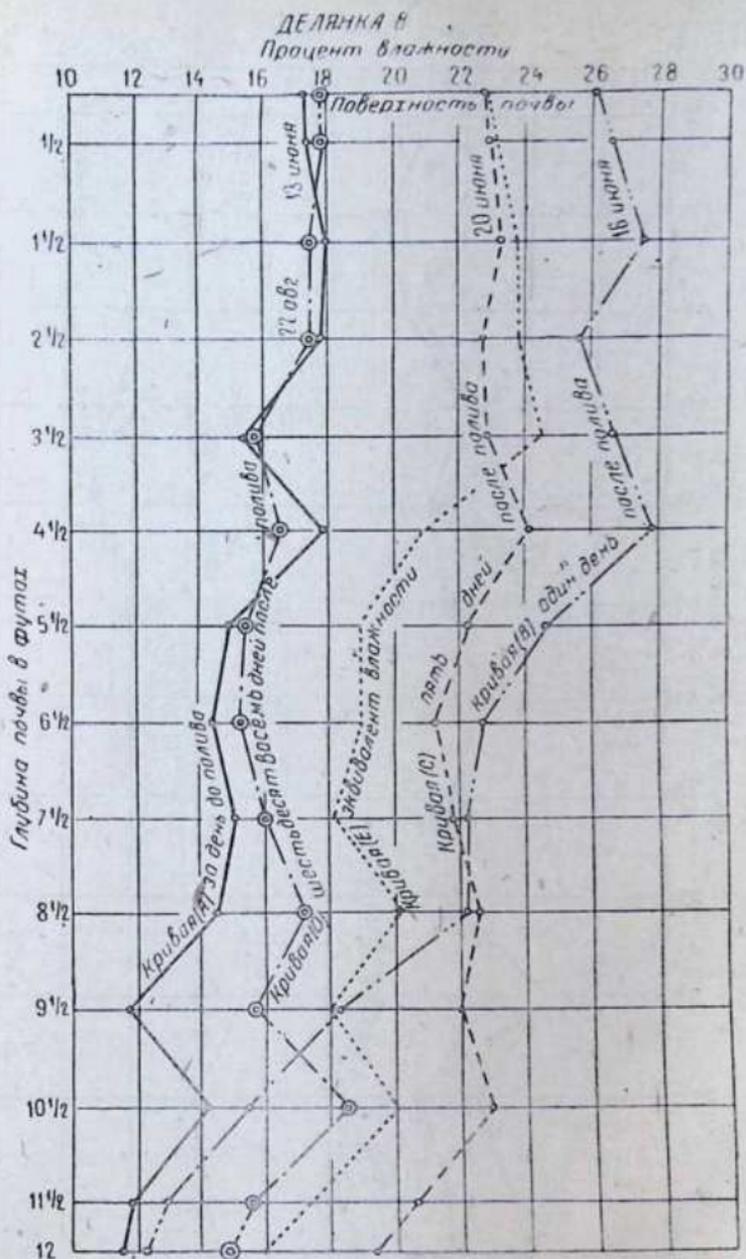


Рис. 97. Распределение влаги в почве в различные периоды после полива нормой в 24",

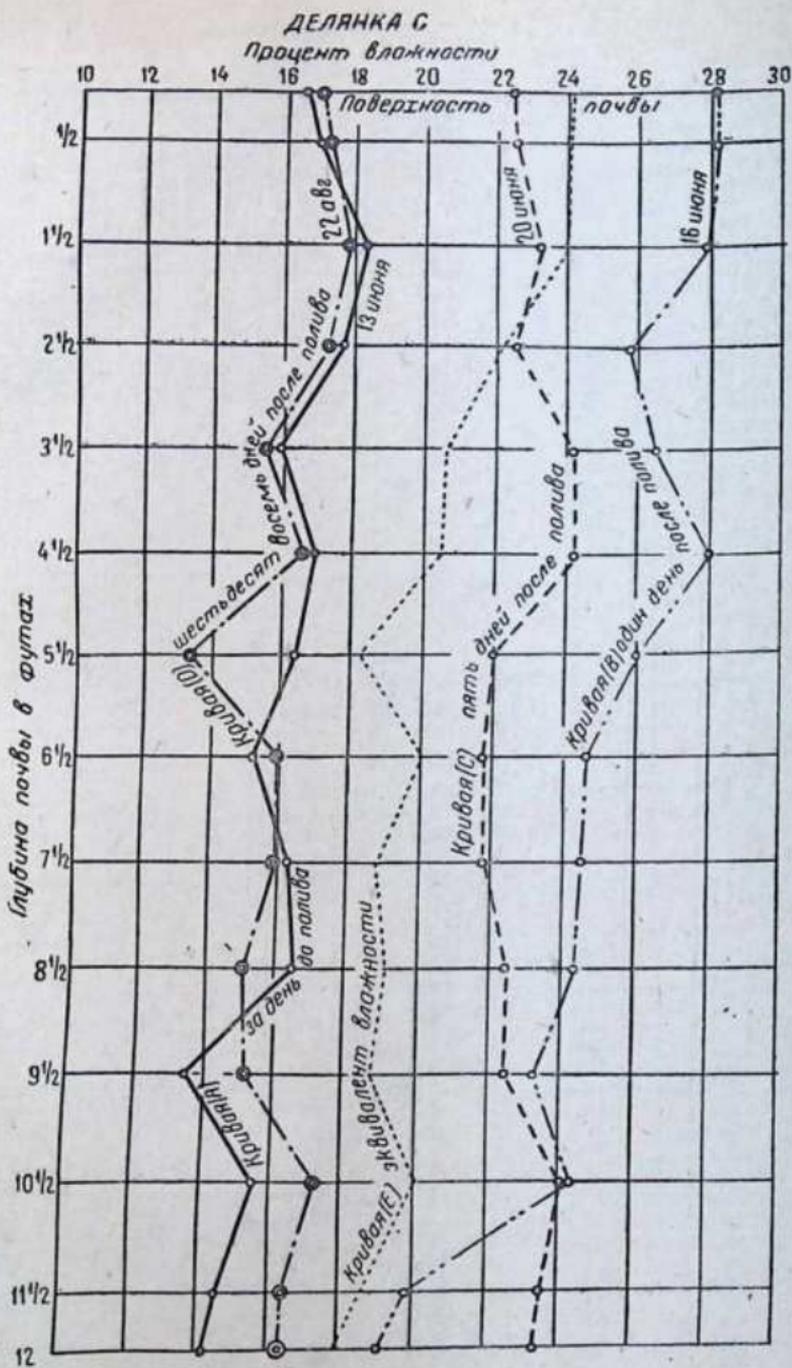


Рис. 98. Распределение влаги в почве в различные периоды после полива нормой в 36".

(или, пользуясь метрической системой, в см), тогда  $d$  уравнения (42) будет равно  $d$  уравнения (32). Из этого следует, при сопоставлении обоих уравнений, что

$$\frac{qt}{a} = \frac{P_w A_s D}{100},$$

отсюда

$$t = \frac{P_w A_s D a}{100 q}. \quad (43)$$

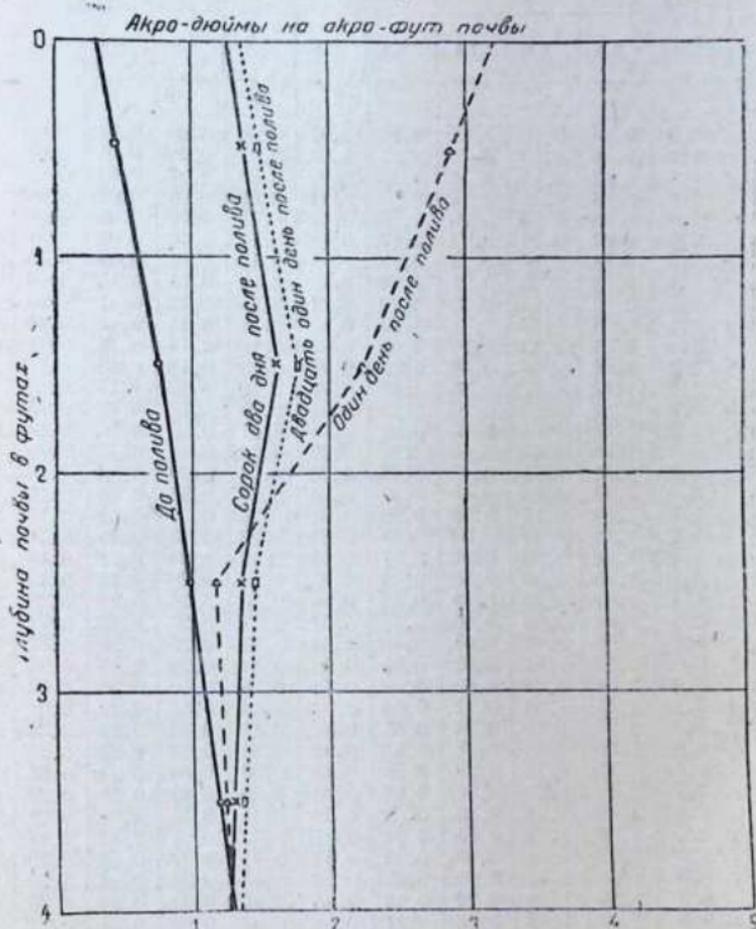


Рис. 99. Распределение влаги в почве до полива и в различные периоды после полива в долине Якима штата Вашингтон (основано на исследованиях Scofield and Wright, Journ. of Agr. Res., vol. 37, № 12).

При условии, что кажущийся удельный вес ( $A_s$ ) известен, возможно вычислить, пользуясь уравнением (43), число часов,

ТАБЛИЦА 8

ВРЕМЯ В ЧАСАХ ( $t$ ), НЕОБХОДИМОЕ ПРИ СТРУЕ ВОДЫ ( $q$ ) ДЛЯ ПРИБАВЛЕНИЯ РАЗЛИЧНЫХ ПРОЦЕНТОВ ВЛАЖНОСТИ ( $P'_{\text{в}}$ ) НА ОДИН АКРО-ФУТ-ПОЧВЫ С КАЖУЩИМСЯ УДЕЛЬНЫМ ВЕСОМ, РАВНЫМ 1,4; ОСНОВАНО НА ФОРМУЛЕ (43)

$$t = \frac{P'_{\text{в}} A_s D_s}{100q}$$

| № столбцов     |  | 1   | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    | 8    | 9    | 10   |
|----------------|--|---|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| № стро-<br>чен | Влаж-<br>ность<br>в %<br>( $P'_{\text{в}}$ ) | Величина струи воды ( $q$ ) в куб. фут/сек. |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|                |  | 0,5   | 1,0  | 1,5  | 2,0  | 2,5  | 3,0  | 3,5  | 4,0  | 4,5  | 5,0  |
| 1              | 1,0  | 0,34  | 0,17 | 0,11 | 0,08 | 0,07 | 0,06 | 0,05 | 0,04 | 0,04 | 0,03 |
| 2              | 1,2  | 0,40  | 0,20 | 0,13 | 0,10 | 0,08 | 0,07 | 0,06 | 0,05 | 0,04 | 0,04 |
| 3              | 1,4  | 0,47  | 0,24 | 0,16 | 0,12 | 0,09 | 0,08 | 0,07 | 0,06 | 0,05 | 0,05 |
| 4              | 1,6  | 0,54  | 0,27 | 0,18 | 0,13 | 0,11 | 0,09 | 0,08 | 0,07 | 0,06 | 0,05 |
| 5              | 1,8  | 0,60  | 0,30 | 0,20 | 0,15 | 0,12 | 0,10 | 0,09 | 0,08 | 0,07 | 0,06 |
| 6              | 2,0  | 0,67  | 0,34 | 0,22 | 0,17 | 0,13 | 0,11 | 0,10 | 0,08 | 0,07 | 0,07 |
| 7              | 2,2  | 0,74  | 0,37 | 0,25 | 0,18 | 0,15 | 0,12 | 0,11 | 0,09 | 0,08 | 0,07 |
| 8              | 2,4  | 0,81  | 0,40 | 0,27 | 0,20 | 0,16 | 0,13 | 0,12 | 0,10 | 0,09 | 0,08 |
| 9              | 2,6  | 0,87  | 0,44 | 0,29 | 0,22 | 0,17 | 0,15 | 0,12 | 0,11 | 0,10 | 0,09 |
| 10             | 2,8  | 0,94  | 0,47 | 0,31 | 0,23 | 0,19 | 0,16 | 0,13 | 0,12 | 0,10 | 0,09 |
| 11             | 3,0  | 1,01  | 0,50 | 0,34 | 0,25 | 0,20 | 0,17 | 0,14 | 0,13 | 0,11 | 0,10 |
| 12             | 3,2  | 1,08  | 0,54 | 0,36 | 0,27 | 0,21 | 0,18 | 0,15 | 0,13 | 0,12 | 0,11 |
| 13             | 3,4  | 1,14  | 0,57 | 0,38 | 0,29 | 0,23 | 0,19 | 0,16 | 0,14 | 0,13 | 0,11 |
| 14             | 3,6  | 1,21  | 0,60 | 0,40 | 0,30 | 0,24 | 0,20 | 0,17 | 0,15 | 0,13 | 0,12 |
| 15             | 3,8  | 1,28  | 0,64 | 0,43 | 0,32 | 0,25 | 0,21 | 0,18 | 0,16 | 0,14 | 0,13 |
| 16             | 4,0  | 1,34  | 0,67 | 0,45 | 0,34 | 0,27 | 0,22 | 0,19 | 0,17 | 0,15 | 0,13 |
| 17             | 4,2  | 1,41  | 0,71 | 0,47 | 0,35 | 0,28 | 0,24 | 0,20 | 0,18 | 0,16 | 0,14 |
| 18             | 4,4  | 1,48  | 0,74 | 0,49 | 0,37 | 0,29 | 0,25 | 0,21 | 0,18 | 0,16 | 0,15 |
| 19             | 4,6  | 1,55  | 0,77 | 0,52 | 0,39 | 0,31 | 0,26 | 0,22 | 0,19 | 0,17 | 0,15 |
| 20             | 4,8  | 1,61  | 0,81 | 0,54 | 0,40 | 0,32 | 0,27 | 0,23 | 0,20 | 0,18 | 0,16 |
| 21             | 5,0  | 1,68  | 0,84 | 0,56 | 0,42 | 0,34 | 0,28 | 0,24 | 0,21 | 0,18 | 0,17 |
| 22             | 5,2  | 1,75  | 0,87 | 0,58 | 0,44 | 0,35 | 0,29 | 0,25 | 0,22 | 0,19 | 0,17 |
| 23             | 5,4  | 1,81  | 0,90 | 0,60 | 0,45 | 0,36 | 0,30 | 0,26 | 0,23 | 0,20 | 0,18 |
| 24             | 5,6  | 1,88  | 0,94 | 0,63 | 0,47 | 0,37 | 0,31 | 0,27 | 0,23 | 0,21 | 0,19 |
| 25             | 5,8  | 1,95  | 0,97 | 0,65 | 0,49 | 0,39 | 0,32 | 0,28 | 0,24 | 0,22 | 0,19 |
| 26             | 6,0  | 2,02  | 1,01 | 0,67 | 0,50 | 0,40 | 0,34 | 0,29 | 0,25 | 0,22 | 0,20 |
| 27             | 6,2  | 2,08  | 1,04 | 0,69 | 0,52 | 0,42 | 0,35 | 0,30 | 0,26 | 0,23 | 0,21 |
| 28             | 6,4  | 2,15  | 1,08 | 0,72 | 0,54 | 0,43 | 0,36 | 0,31 | 0,27 | 0,24 | 0,22 |
| 29             | 6,6  | 2,22  | 1,11 | 0,74 | 0,55 | 0,44 | 0,37 | 0,32 | 0,28 | 0,24 | 0,22 |
| 30             | 6,8  | 2,29  | 1,15 | 0,76 | 0,57 | 0,46 | 0,38 | 0,33 | 0,29 | 0,25 | 0,23 |
| 31             | 7,0  | 2,35  | 1,17 | 0,78 | 0,59 | 0,47 | 0,39 | 0,34 | 0,29 | 0,26 | 0,23 |
| 32             | 7,2  | 2,42  | 1,21 | 0,81 | 0,60 | 0,48 | 0,40 | 0,35 | 0,30 | 0,27 | 0,24 |
| 33             | 7,4  | 2,49  | 1,25 | 0,83 | 0,62 | 0,50 | 0,41 | 0,36 | 0,31 | 0,28 | 0,25 |
| 34             | 7,6  | 2,56  | 1,28 | 0,85 | 0,64 | 0,51 | 0,42 | 0,36 | 0,32 | 0,28 | 0,26 |
| 35             | 7,8  | 2,62  | 1,31 | 0,87 | 0,65 | 0,52 | 0,44 | 0,37 | 0,33 | 0,29 | 0,26 |
| 36             | 8,0  | 2,69  | 1,35 | 0,90 | 0,67 | 0,54 | 0,45 | 0,38 | 0,34 | 0,30 | 0,27 |
| 37             | 8,2  | 2,75  | 1,38 | 0,92 | 0,69 | 0,55 | 0,46 | 0,39 | 0,34 | 0,30 | 0,27 |
| 38             | 8,4  | 2,82  | 1,42 | 0,94 | 0,71 | 0,56 | 0,47 | 0,40 | 0,35 | 0,31 | 0,28 |
| 39             | 8,6  | 2,89  | 1,45 | 0,96 | 0,72 | 0,58 | 0,48 | 0,41 | 0,36 | 0,32 | 0,29 |
| 40             | 8,8  | 2,96  | 1,48 | 0,99 | 0,74 | 0,59 | 0,49 | 0,42 | 0,37 | 0,33 | 0,30 |
| 41             | 9,0  | 3,02  | 1,51 | 1,01 | 0,76 | 0,60 | 0,50 | 0,43 | 0,38 | 0,33 | 0,30 |
| 42             | 9,2  | 3,09  | 1,54 | 1,03 | 0,77 | 0,62 | 0,52 | 0,44 | 0,38 | 0,34 | 0,31 |
| 43             | 9,4  | 3,16  | 1,58 | 1,05 | 0,79 | 0,63 | 0,53 | 0,45 | 0,39 | 0,35 | 0,32 |
| 44             | 9,6  | 3,23  | 1,61 | 1,07 | 0,81 | 0,64 | 0,54 | 0,46 | 0,40 | 0,36 | 0,32 |
| 45             | 9,8  | 3,30  | 1,65 | 1,10 | 0,82 | 0,66 | 0,55 | 0,47 | 0,41 | 0,36 | 0,33 |

в течение которых нужно давать воду участку определенной площади ( $a$ ), и с определенной глубиной почвы ( $D$ ), применяя струю воды  $q$  куб. фут/сек (акро-дюймов в час).

Читатель должен помнить, что уравнение (43) основано на рассуждениях, а не является результатом опыта. Оно может, например, быть ограничено в своем применении к величинам  $P'_{\text{max}}$ , которые представляют полную капиллярную влагоемкость почвы минус содержание влаги до полива. Ви мейер и сотрудники, работая на некоторых калифорнийских почвах, нашли, что неразумно прибавлять для глубоких почв небольшой процент воды в капиллярной форме, так как прежде чем продвигнуться вглубь, вода должна насытить на своем пути верхние слои почвы до капиллярной влагоемкости. Также очень трудно распределить воду равномерно по поверхности участка.

Необходимо помнить об этих ограничениях, однако уравнение (43) все же имеет практическое значение, особенно в связи с наличием большого количества сведений о максимальном  $P'_{\text{max}}$ , который почвы могут удержать после одного полива. Для упрощения применения уравнения (43) предлагается таблица 8. Непосредственно она применима лишь для почв с кажущимся удельным весом, равным 1,4. Для почв с большим или меньшим значением  $A_2$  необходимо вносить соответствующие поправки. Применение таблицы 8 можно иллюстрировать следующим примером: водопользователь имеет в своем распоряжении струю воды в 3 куб. фут. в секунду, и он желает прибавить 6% к верхним 4 футам (120 см) почвы. Сколько часов необходимо поливать при условии, что вода распределяется равномерно и потери не учитываются? Столбец 6 в таблице 8 показывает, что 0,28 часа достаточно при струе в 3 куб. фут. в секунду, чтобы увлажнить на 5% 1 акро-фут почвы. Для повышения влажности на 5% в 4 акро-футах необходимо 1,12 часа. Более длительный полив может привести к просачиванию вглубь при условии, что 5% насыщают полевую капиллярную влагоемкость или заполняют капиллярную скважность.

## ГЛАВА X

### ПЕРЕДВИЖЕНИЕ ВОДЫ В ПОЧВАХ

В гл. II было показано, что в открытых каналах вода течет под влиянием силы тяжести, а в трубах под влиянием силы тяжести и разности давлений. В настоящей главе будет рассмотрено передвижение воды лишь в одном измерении. В насыщенных почвах движущие силы близко сравнимы с теми, которые обуславливают передвижение воды в трубах, они являются результатом действия силы тяжести и разности гидростатического давления. Величина этих двух типов движущих сил в насыщенных почвах, как и в трубах, может быть выражена с помощью хорошо установленных физических закономерностей. Для измерения равнодействующей движущей силы на единицу массы, которая обуславливает прямолинейное передвижение капиллярной воды в ненасыщенных почвах, физики пользовались рассуждениями и методами, давно применявшимися при изучении распространения тепла и электрического тока. Понимание этих анализов и методов легко почерпнуть из учебников физики и инженерного дела после соответствующей предварительной математической подготовки. Однако нужно надеяться, что тщательное изучение настоящей главы поможет читателю приобрести правильные представления относительно прямолинейного передвижения воды как в насыщенных, так и ненасыщенных почвах.

При изучении передвижения воды в почвах физики в первую очередь интересовались капиллярным передвижением в ненасыщенных почвах, а инженеры обращали внимание главным образом на движение воды в почвах, песках или горных породах насыщенных. Физики применяют термины: «потенциалы», «потенциальные градиенты», «эквипотенциальные области», «коэффициенты проводимости» и т. д., а инженеры пользуются терминами «высота напора», «напор, обусловленный положением», «линии гидравлического градиента — градиенты или склоны», «гидравлические проницаемости» и т. д. Для овладения литературой по передвижению воды в почвах читателю существенно получить ясное представление о значении всех этих терминов.

Для исследователей — агрономов и инженеров очень важно заблаговременно получить ясное представление о принципах, на которых основывается передвижение воды в почвах. Это вытекает уже из одного того факта, что успешное управление пе-

редвижением воды в почве играет существенную роль в экономии орошения и в предотвращении заболачивания ценных орошаемых земель. При изучении этих принципов чрезвычайно полезно еще раз просмотреть те параграфы гл. II, которые касаются передвижения поливной воды.

**130. Потенциал.** Как указывалось в гл. II, механическая работа равняется произведению силы на расстояние. Поднятие 1 кг воды вертикально вверх против силы тяжести на высоту 10 м требует затраты работы в 10 кгм. В инженерном деле принято говорить о теле данного веса  $w$  (например, 1 куб. м воды), обладающем различными формами энергии, как, например, потенциальной энергией, кинетической энергией или энергией сжатия. По отношению к поверхности земли куб. м воды на высоте 100 м обладает потенциальной энергией в 100 000 кгм.

В современных исследованиях по передвижению воды в почвах выражение «потенциал» применяется в несколько отличном значении. В связи с важными достижениями в области изучения передвижения воды в почве, для инженеров и агрономов весьма существенно внимательно отнестись к значению и применимости термина потенциал. В физике под термином потенциал понимается работа, необходимая для передвижения единицы массы против действия определенных сил из какого-либо относительного положения в определенную точку в пространстве. Потенциал поэтому характеризует каждую точку пространства или поля. В пространстве, где имеется электрическое поле, благодаря наличию статического заряда, каждая точка характеризуется электростатическим потенциалом, измеряемым в вольтах; в нагреваемом теле измеряется термический потенциал или температура, в области действия гравитационных сил можно говорить о гравитационном потенциале.

Целесообразность применения понятия о потенциале при изучении передвижения влаги в почве вытекает из того факта, что скорость изменения потенциала в пространстве непосредственно связана с силами, обуславливающими передвижение. Памятуя, на основании определения, приведенного выше, что потенциал есть произведение силы, действующей на единицу массы, на расстояние, легко видеть, что разность потенциалов в двух разных точках, деленная на расстояние между ними, т. е. пространственная скорость изменения потенциала, дает среднюю силу на единицу массы, действующей в направлении линии, соединяющей две точки. Измерения потенциала применяются часто там, где неудобно непосредственное измерение силы, обуславливающей пространственную скорость изменения потенциала. В исследованиях влажности почвы применяются понятия: гравитационный потенциал и потенциал давления. Оба эти потенциала, взятые вместе, рассматриваются как общий потенциал, и им выражается общая сила, вызывающая передвижение воды.

**131. Принятые единицы исчислений.** Потенциал в применении к исследованию водного тока в почве определяется также как работа, отнесенная к единице массы, и уровень грун-

товой воды принимается за поверхность нулевого потенциала. В физике в качестве единицы массы применяется грамм, и капиллярный потенциал, так как он определяется в § 136, выражается иногда в грамм-сантиметрах на грамм. Дина, единица силы на языке физиков, представляет силу, которая вызывает изменение в скорости на 1 см в секунду массы в 1 г. Поскольку сила тяжести дает в 1 секунду изменение скорости в 980 см (примерно), она равняется 980 динам на 1 г массы. Термин «грамм» поэтому также применяется в качестве выражения силы и равняется 980 динам.

В Америке в инженерном деле обычно применяются единицы футо/фунто/секунды. Так, изменение в скорости тела под воздействием силы тяжести равняется 32,2 фута в секунду, а вес (или сила тяжести) на 1 куб. фут воды равняется 62,5 английского фунта. Отсюда под единицей массы в гравитационной системе у инженеров понимается тело, которое изменяет скорость на 1 фут в секунду под действием силы в 1 английский фунт, или 32,2 фута в секунду под действием силы в 32,2 фунта.

Из второго закона движения Ньютона следует, что

$$M = W/g, \quad (44)$$

где  $M$  — масса тела,  $W$  — вес тела,  $g$  — ускорение, вызванное тяжестью, или сила тяжести на единицу массы. В связи с тем, что  $g$ , обусловленное тяжестью, равняется 32,2 фута в секунду, из уравнения (44) очевидно, что для того чтобы  $M$  было равно единице,  $W$  должно быть равно 32,2, или

$$M = 32,2 : 32,2 = 1.$$

Поэтому в гравитационной системе в инженерном деле под единицей массы подразумевается тело, вес которого равен 32,2 фунта<sup>1</sup> и которое иногда называется «джипоунд» (geepound). Совершенно ясно, что настоящая единица массы является результатом перечисления, тогда как единица силы, выраженная в фунтах, или ускорение, выраженное в футо/секундах, являются условно выбранными единицами. Так как единица объема воды, т. е. 1 куб. фут, весит 62,5 фунта, она содержит 62,5:32,2, или 1,94 единицы массы.

**132. Градиент потенциала.** На пространстве, где величина потенциала изменяется от одной точки к другой, в различных направлениях будут различные пространственные скорости изменения потенциала и будет одно направление, в котором скорость изменения потенциала будет больше, чем в любом другом направлении. Изменение потенциала на единицу расстояния в направлении наибольшей скорости изменения известно под названием градиента потенциала. Например, при рассмотрении гравитационного притяжения земли на единицу массы направление наибольшей скорости изменения гравитационного потенциала вертикально, и отсюда направление градиента гравитационного потенциала вертикально. Поэтому, если в районе влажной почвы на каждую единицу мас-

<sup>1</sup> Для целей, преследуемых настоящей книгой, нет надобности останавливаться на изменениях  $g$ , обусловленных положением.

сы воды воздействовал бы только отрицательный градиент гравитационного потенциала, — почвенная влага передвигалась бы вертикально вниз.<sup>1</sup> В действительности, однако, почвенная влага в каждой точке смоченной ею почвы обычно также имеет потенциал давления, и поэтому передвижение воды будет происходить в отрицательном направлении градиента общего потенциала или, другими словами, в отрицательном направлении градиента суммы потенциалов гравитационного и давления. Вода в канале или в трубе может передвигаться лишь в направлении канала или трубы. Поэтому сила на единицу массы, обуславливающая ток в каналах (рис. 5), является отрицательной компонентой градиента гравитационного потенциала. Эта компонента пропорциональна снижению поверхности воды на единицу длины канала или склону гидравлического градиента. Сила на единицу массы, обуславливающая ток через горизонтальные трубы, является отрицательным градиентом потенциала давления и пропорциональна падению высоты напора на единицу длины трубы, по которой протекает вода.

**133. Пьезометрические линии и линии градиента энергии.** Как было кратко указано в гл. II, термин пьезометрическая линия или линия гидравлического градиента употребляется для обозначения кривой, представляющей высоты, до которых поднялась бы вода в серии вертикальных труб, соединенных с трубой, по которой вода протекает под давлением. Для труб, в которых давление воды низко, пьезометрическая линия будет проходить относительно близко от самой трубы, а для труб, в которых давление высоко, она будет располагаться выше над осью трубы. Средняя скорость тока воды в трубе независима от высоты линии гидравлического градиента, но зависит от уклона<sup>2</sup>.

Измерение гидравлического наклона иллюстрировано на рис. 100. В трубе или столбе почвы, через которые протекает вода, гидравлический наклон будет равен снижению высоты напора ( $h_f$ ), деленному на длину между точками измерений ( $l$ ), т. е.  $h_f : l$ .

Инженеры термину «линия градиента энергии» обозначают линию, расположенную выше гидравлического градиента на расстояние, равное численно напору скорости текущей воды.

Когда средняя скорость воды вдоль всей трубы от одной точки к другой постоянна, как в трубе равномерного диаметра, градиенты гидравлический и энергии параллельны. Когда скорость уменьшается, как, например, в расширяющейся трубе, обе линии сближаются; наконец, когда скорость увеличивается, расстояние между линиями увеличивается. Там, где

<sup>1</sup> Читатель должен различать две величины: 1) потенциал и 2) градиент потенциала. Потенциал есть количество, имеющее только величину, он не имеет направления и поэтому является скаляром (невекторная величина). Градиент потенциала так, как он применяется здесь, есть количество, имеющее и величину и направление, и поэтому является вектором. Направление градиента потенциала, в котором потенциал увеличивается, обычно считается положительным. Таким образом, сила тяжести на единицу массы равна отрицательному градиенту гравитационного потенциала.

<sup>2</sup> См. также § 23.

скорость очень низка, как обычно бывает в почвах, линия градиента энергии фактически находится на том же уровне, как и линия гидравлического градиента. В связи с тем, что скорость тока воды в почвах обычно невелика и изменения в скорости незначительны, необходимо учитывать лишь линию гидравлического градиента.

Подъем в любой данной точке на линии гидравлического градиента аналогичен потенциалу (см. § 130), т. е. работа, необходимая для передвижения единицы массы воды в противодействии силе тяжести с любой данной горизонтальной линии к точке на линии гидравлического градиента, пропорциональна высоте этой последней линии над данной горизонтальной.

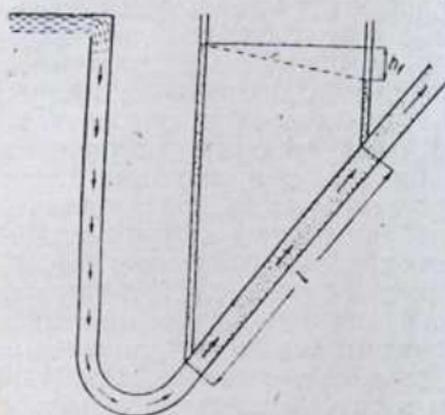


Рис. 100. Измерение гидравлического наклона  $h_f/l$ .

Разница в энергии на единицу массы воды в двух точках трубы, представленная разностью в высоте двух точек на линии гидравлического градиента, деленная на расстояние вдоль трубы между этими двумя точками, где измеряется давление, дает величину градиента потенциала. Градиент потенциала поэтому пропорционален наклону линии гидравлического градиента или, лучше, гидравлического наклона<sup>1</sup>.

**134. Эквипотенциальные области.** Пространство, в любой точке которого потенциал имеет одну и ту же величину,

называется эквипотенциальной областью. Возьмем для примера кусок железа, имеющий равномерную температуру. Пространство, занимаемое железом, является областью эквитермического потенциала, и в нем не имеется потока тепла из одной части в другую.

Масса стоячей воды, как, например, в озере или пруде, не движимой ветром и не имеющей ни притока, ни оттока, представляет эквипотенциальную область. На поверхности воды гравитационный потенциал повсюду одинаков, так как поверхность эта является поверхностью уровня. Потенциал давления также постоянен, отсюда и общий потенциал постоянен. Переходя от уровня поверхности воды вниз ко дну пруда, потенциал давления увеличивается с такой же скоростью, с какой уменьшается гравитационный потенциал. Отсюда общий потенциал, т. е. сумма потенциалов гравитационного и давления, является величи-

<sup>1</sup> Термины «градиент энергии» и «гидравлический градиент» некоторыми авторами применяются для обозначения соответственно «наклона линии градиента энергии» и «наклона линии гидравлического градиента».

ной постоянной, а вся эта область — эквипотенциальной. Из определения, данного выше градиенту потенциала, ясно, что в эквипотенциальной области не имеется равнодействующих сил, т. е. градиент потенциала в эквипотенциальной области равняется нулю. Ввиду того, что нет равнодействующих, не может быть и движения, и эквипотенциальная область представляет область статического равновесия.

Столб ненасыщенной почвы, в котором капиллярная вода находится в равновесии с грунтовой водой, представлен на рис. 80. При рассмотрении потенциалов в почвах обычно пренебрегают разностями температур и не приводят их к одинаковой температуре. Почвенный столб на рис. 80 представляет эквипотенциальную область, т. е. сумма гравитационного потенциала и потенциала давления постоянна во всем объеме, занятом почвой. Поэтому, как показано в § 114, капиллярная сила поднятия на единицу массы равна по величине сумме силы тяжести и капиллярной силы тяги книзу; отсюда равнодействующая сила равняется нулю и передвижения воды нет.

**135. Потенциал давления.** Как указывалось выше и как представлено на рис. 80, для потенциалов давления исходной поверхностью избирается свободная водная поверхность, являющаяся поверхностью равного давления. Тогда работа, необходимая для передвижения единицы массы воды вниз против равнодействующего давления воды вверх, от точки на поверхности воды к любой другой точке на расстоянии  $h$ , ниже поверхности, не учитывая работу силы тяжести, определяется как потенциал давления<sup>1</sup>.

Необходимая в данном случае работа положительна, так как равнодействующая силы давления положительна, отсюда, следовательно, и потенциал давления положителен. Для примера рассмотрим массу в 1 г воды с плотностью, равной единице. Равнодействующая давления, направленная вверх на 1 куб. см воды, равна 1 г, отсюда работа, необходимая для передвижения 1 г против равнодействующего давления вверх от поверхности воды к точке, расположенной на  $h$  см ниже, равняется  $h$  г/см. Не безинтересно отметить, что потенциал давления в покоящейся массе воды, измеряемый в см/г/сек, численно равен расстоянию точки вглубь от поверхности воды.

При изучении передвижения воды в насыщенных почвах (как, например, в трубах), в которых давления и потенциалы давления положительны, давно принят в качестве движущей силы градиент потенциала давления [см. уравнение (7)]. При изучении передвижения воды в ненасыщенных почвах понятие о потенциалах давления, напротив, применялось сравнительно

<sup>1</sup> Масса воды в покоящемся состоянии представляет эквипотенциальную область вследствие того, что, переходя от уровня поверхности воды вглубь, гравитационный потенциал уменьшается с той же скоростью, с какой возрастает потенциал давления. Отсюда сила тяжести на единицу массы может рассматриваться как выполняющая работу, необходимую для создания потенциала давления в массе покоящейся воды.

мало. За последнее время в исследованиях капиллярных потенциалов потенциалы давления применяются и к ненасыщенным почвам. Капиллярный потенциал является отрицательным потенциалом давления, как будет видно дальше.

**136. Капиллярный потенциал.** Под капиллярным потенциалом подразумевается работа, необходимая для передвижения единицы массы воды в почвенном столбе против капиллярных сил от уровня свободной водной поверхности к любой точке на расстоянии  $h_a$  над этой поверхностью<sup>1</sup> (см. рис. 80). Как было показано в § 112, капиллярная вода находится в состоянии натяжения, а отсюда капиллярное давление отрицательно, вместе с тем и капиллярный потенциал отрицателен. Вода ниже уровня свободной водной поверхности, выражаясь языком инженеров, находится под давлением (сжата).

Равновесное значение капиллярного потенциала в почве на любом данном уровне над свободной водной поверхностью постоянно. Учитывая, что капиллярный потенциал отрицателен, очевидно, что его равновесная величина уменьшается с возрастанием высоты над поверхностью воды. Это означает, что капиллярный потенциал в точке, лежащей в 100 см над свободной поверхностью воды, в действительности представляет минус 100 г/см на 1 г, а это по существу меньше, чем, например, минус 50 г/см на 1 г, т. е. меньше, чем капиллярный потенциал в состоянии равновесия в точке, лежащей в 50 см над свободной водной поверхностью. Пространственная скорость уменьшения капиллярного потенциала в почве, в которой капиллярная влага находится в равновесии со свободной водой, равна пространственной скорости увеличения гравитационного потенциала. Это верно потому, что сумма этих двух потенциалов при равновесии должна быть постоянна. Таким образом, градиент суммы потенциалов становится равным нулю. Если бы градиент потенциала не был равен нулю, тогда должна бы возникнуть равнодействующая движущая сила, которая вызвала бы передвижение воды и препятствовала бы поддержанию состояния равновесия.

**137. Влажность почвы и капиллярный потенциал.** Хотя величина капиллярного потенциала при равновесии на данной высоте над свободной водной поверхностью постоянна, влажность почвы, соответствующая определенному капиллярному потенциалу, зависит от механического состава почвы, ее структуры, почвенного раствора и температуры. Первые два фактора особенно влияют на кривизну капиллярных водных пленок, последние два — на поверхностное натяжение жидкости и, таким образом, все влияют на капиллярное давление.

Работы последнего времени Ричардса (Richards) указывают на заметное снижение капиллярного потенциала с уменьшением влажности почвы, особенно в мелкоземистых почвах. Как видно на рис. 101,<sup>2</sup> Ричардс изучал соотношение влажности почвы

<sup>1</sup> Важно отметить, что капиллярный потенциал не включает работы, необходимой для передвижения единицы массы воды против силы тяжести от уровня водной поверхности до точки на расстоянии  $h_a$  над этой поверхностью.

в равновесном состоянии и капиллярного потенциала в четырех почвах, а именно: *A* — в Беннетских песках, *B* — в Гринвилльских суглинках; *C* — в трентонских тяжелых глинах; *D* — в Престонских тяжелых глинах.

Измерения капиллярного потенциала, показанные на рис. 101, были произведены при постоянной температуре 16°C; структура почвы поддерживалась возможно более равномерной; данные.

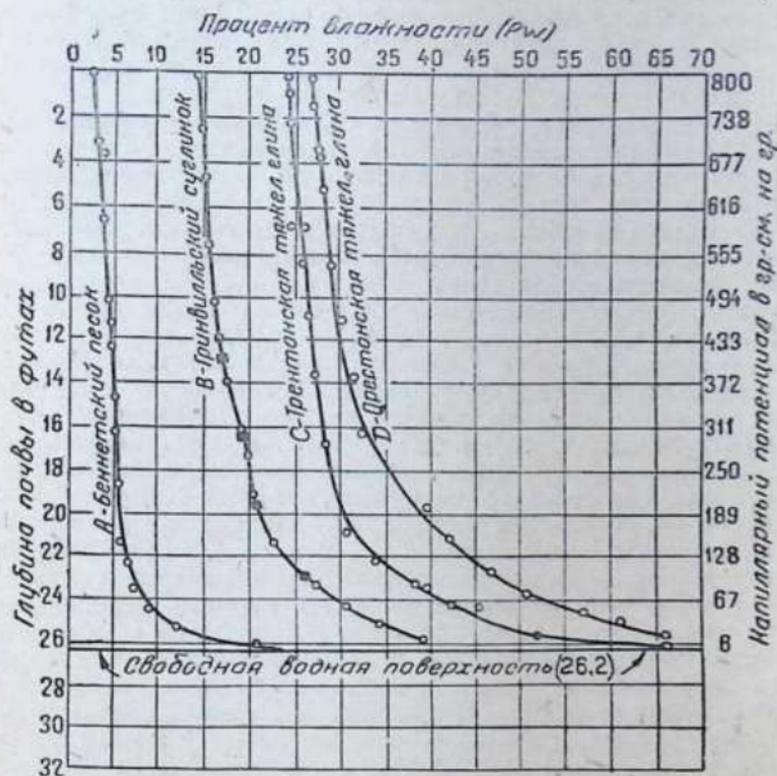


Рис. 101. Капиллярная влагоемкость в условиях равновесия с грунтовой водой в четырех почвах по определениям Ричардса (данные из Journ Agr. Research, vol. 37, № 12).

приведенные для каждой почвы, показывают соотношение между влажностью почвы и капиллярным потенциалом. Например, в почве *D* влажность почвы  $P_w$  снизилась с 67% до 27% по мере уменьшения капиллярного потенциала с нуля до 800 г/см на 1 г. Почвы *A*, *B*, *C* и *D* в равновесии с потенциалом в 250 г/см на 1 г имеют влажность соответственно в 6, 20, 28 и 36%. Ричардс применял слои почвы всего лишь в 1,25 см глубиной, ускоряя, таким образом, достижение равновесия во влажности почвы до сравнительно короткого периода в 3—4 дня. Неравно-

мерности в кривых двух глинистых почв, повидимому, указывают на то, что для этих почв несколько более длительный период обеспечил бы более полное приближение к состоянию равновесия.

Очень важно отметить, что приведенные выше определения потенциалов и градиентов потенциала все касаются лишь задерживающих сил, аналогичных движущим силам, рассмотренным в гл. II и относящимся к передаче воды. До сих пор, при обсуждении передвижения воды в почвах, мы намеренно не касались задерживающего влияния сил трения. Однако ясно, что всестороннее рассмотрение сил, влияющих на передвижение воды в почвах, должно включать обсуждение не только движущих, но и задерживающих сил. Имеются существенные различия в задерживающих силах в насыщенных и ненасыщенных почвах. Для большей ясности лучше сперва рассмотреть задерживающие силы, которые обычно имеются в насыщенных и ненасыщенных почвах, а затем уже отдельно перейти к рассмотрению передвижения воды в этих почвах.

**138. Задерживающие силы.** В почвах сопротивление трения зависит от эффективных размеров пустот и капиллярных каналов, объема пор, температуры воды и процента влажности. В связи с тем, что в естественных почвах наблюдается значительное разнообразие и отсутствует однородность, нецелесообразно оценивать с точностью для каждой данной почвы эффективную величину капиллярных каналов и сопротивление трения. Задерживающее влияние формы капилляра не может быть учтено или выражено математически, например, гидравлическим радиусом ( $r$ ), который отчасти служит мерилom задерживающего влияния формы сечения каналов, рек и труб. В ненасыщенных почвах имеется еще большее разнообразие в силах трения благодаря тому, что водные каналы, по которым передвигается влага, зависят от влажности почвы, которая в свою очередь изменчива. Поэтому составление уравнения, которое дало бы скорость передвижения воды в почвах, аналогичного уравнению (II) для каналов и труб, представляет сравнительно сложную задачу, особенно трудную для ненасыщенных почв. Сравнительно недавние исследования указывают на возможные пути для измерения движущих сил на единицу массы, но силы трения, аналогичные  $\eta$  в формуле Маннинга, должны еще быть установлены для различных почв, содержащих различные количества капиллярной воды и растворенных веществ при разных температурах. Нецелесообразно оценивать сопротивление трения, обусловленное каждой из этих переменных, в отдельности. Более надежными представляются попытки оценить экспериментально комбинированное сопротивление трения для характеристики основных типов почв при данной влажности. При рассмотрении передачи оросительных вод в гл. II, трение интерпретируется как сила, задерживающая ток воды в каналах и трубах. Там же указано, что сопротивление трения току воды в каналах и трубах изменяется примерно пропорционально квадрату скорости. Существенным моментом различия между

отношением сил трения к скорости тока воды в каналах и трубах и скорости течения в почвах является следующее.

В почвах, вследствие относительно медленного передвижения воды, ток движется ламинарно, а не турбулентно, а отсюда сопротивление от трения варьирует скорее пропорционально первой степени скорости, чем второй степени, как это имеет место в каналах и трубах. Это соотношение, изложенное в несколько иной форме, известно под названием закона Дарси. Выражаясь математически, ток в почве

$$F_r = Kv, \quad (45)$$

где  $F_r$  — сила трения, задерживающая передвижение воды в каждой единице объема почвы,

$v$  — скорость потока в почвах,

$K$  — константа для данной почвы.

Движущая сила, действующая на каждую единицу объема воды, равна по величине и противоположна по направлению задерживающей силе.

**139. Скорость тока в насыщенных почвах.** Каждая единица объема насыщенной почвы занята твердыми частицами и водой. Часть воды свободно передвигается, другая довольно прочно удерживается вокруг каждой почвенной частицы. Объем пор в почве занимает от 30 до 60% общего объема, а объем воды, свободно передвигающейся со значительной скоростью в насыщенных почвах, вероятно достигает от 15 до 40% или больше от общего объема<sup>1</sup>. В ненасыщенных почвах объемный процент свободно передвигающейся воды меньше, чем в насыщенных почвах.

Пусть  $P_f$  — процентное (по объему) содержание свободно передвигающейся воды в насыщенной почве или процент общей поверхности, через которую передвигается вода в почве. Принимая 1 куб. фут за единицу объема, единица свободно движущейся массы воды в каждой единице объема равняется  $1,94 P_f$ .

В уравнении (9) и на рис. 7 показано, что равнодействующая движущая сила на единицу массы воды, текущей при постоянной скорости в трубе, является отрицательным градиентом суммы двух потенциалов в направлении оси трубы. Тот же принцип применяется и к току воды в почвах, в которых потенциалы, благодаря расположению или давлению воды, либо положительны, либо отрицательны, т. е. являются гидростатическим или капиллярным давлением.

Прямолинейный поток воды под давлением в почвах аналогичен току в трубах. Отсюда, движущая сила на единицу массы пропорциональна гидравлическому градиенту ( $h_f$ , уравнения 9) на данном участке  $l$ , и она равна  $\frac{gh_f}{l}$ , т. е. отрицательному гра-

<sup>1</sup> Точное исчисление процента свободно передвигающейся воды несущественно для дальнейшего анализа и для применения выведенного конечного уравнения. Понятие о том, что часть почвенной влаги не может свободно передвигаться или что скорость ее столь мала, что может не учитываться, введено для облегчения анализа.

денту суммы двух потенциалов, описанных выше (в направлении оси трубы). Отсюда следует, что если величина движущей силы на единицу массы равна  $\frac{gh_f}{l}$ , то движущая сила, передвигающая воду в каждом куб. фута насыщеннй почвы, равна:

$$F_d = 1,94 P_f \frac{gh_f}{l}. \quad (46)$$

Так как  $F_d = F_r$  (по величине), то из уравнений (45) и (46) следует, что

$$v = \frac{1,94 P_f}{K} \cdot \frac{gh_f}{l}. \quad (47)$$

**140. Расход воды через почву.** В гл. II было показано, что расход воды через каналы или трубы выражается уравнением:

$$q = av.$$

В почвах часть общей площади сечения, представленной в уравнении (12) буквой  $a$ , занята почвенными частицами, окруженными тончайшими пленками воды. Действительная площадь сечения, перпендикулярного к направлению тока, через которую протекает вода, выражается произведением  $P_f a$ . Поэтому расход воды через почву выражается уравнением:

$$q = \frac{1,94 P_f^2}{K} \cdot \frac{gh_f a}{l}. \quad (48)$$

Для любого данного содержания воды в ненасыщенной почве процент  $P_f$  по существу постояен. Поэтому величина  $\frac{1,94 P_f^2}{K}$  для насыщеннй почвы или для ненасыщенной почвы, имеющей определенную влажность, может быть принята постоянной и представлена буквой  $k$ , тогда уравнение (48) принимает форму <sup>1</sup>:

$$q = k \frac{gh_f a}{l}. \quad (49)$$

Процент  $P_f$  не может быть измерен непосредственно, тогда как величина  $k$  может быть без труда установлена опытным путем.

<sup>1</sup> Приводимый ниже анализ уравнения (49) показывает, что величина  $k$  имеет физическую размерность времени ( $T$ ).

$$q \text{ — объем в секунду} = \frac{L^3}{T},$$

$$a \text{ — площадь} = L^2,$$

$$g \text{ — сила на единицу массы или ускорение силы тяжести} \frac{ML}{MT^2} = \frac{L}{T^2},$$

поэтому

$$k = \frac{ql}{gh_f a} = \frac{L^2 T^2 L}{T L L L^2} = T.$$

#### 141. Факторы, влияющие на передвижение воды в почвах.

Если величина  $\frac{gh_f}{l}$  в уравнении (49) равна единице, а площадь  $a$  также равняется единице, то очевидно, что  $q = k$  (численно). Величина  $k$  поэтому определяется, как объем воды, протекающий в единицу времени через почвенную колонку с поперечным сечением, равным единице, под действием движущей силы на единицу массы, соответствующей единице градиента потенциала. Величина  $k$  при данной температуре определяется в значительной степени свойствами почвы: механическим составом, структурой, пористостью и влажностью. Она не является настоящей константой, хотя и характеризует почву в специфических условиях. Представляется возможным обозначить величину  $k$  как удельную водопроводимость. Сила тяжести на единицу массы или ускорение, обусловленное силой тяжести  $g$  в уравнении (49), хотя и слегка изменчиво, но считается постоянным при разрешении большинства практических задач. Заменяя произведение  $kg$  в уравнении (49) новым значком  $k_s$ , получаем:

$$q = k_s \frac{h_f a}{l} \quad (50)$$

Величина  $k_s$  в уравнении (50) является «константой передачи», согласно определению Сликтера (Slichter), представляющей «количество воды, передаваемой в единицу времени через столб почвы, имеющий единицу длины и единицу площади поперечного сечения, при единице разности напора на обоих концах».

В последнее время Мейнцер (Meinzer) назвал величину  $k_s$  «гидравлической проницаемостью» и определил ее «как скорость протока воды через единицу площади поперечного сечения породы или почвы, перпендикулярную к направлению тока, при гидравлическом градиенте, равном единице».

Величина  $k_s$  обозначалась Мейнцером и Стернсом (Meinzer and Stearns) так же, как «коэффициент проницаемости». При применении своей «константы передачи» Сликтер пользовался в качестве единицы объема куб. футом, в качестве единицы площади — кв. футом и в качестве единицы времени — минутой. При применении коэффициента проницаемости Стернс пользовался галлоном для выражения объема, футом для единицы площади и сутками — для единицы времени и все наблюдения относил к постоянной температуре в 60°F.

Сравнение определенных удельной водопроводимости ( $k$ ) и гидравлической проницаемости или коэффициента проницаемости  $k_s$  (не говоря о числовых различиях в выбранных единицах объема, времени и площади) показывает, что существенным моментом различия является специфичность единицы градиента потенциала для  $k$  и единицы гидравлического градиента для  $k_s$ . Понятие градиент потенциала широко применялось физиками,

особенно при изучении передвижения капиллярной воды в ненасыщенных почвах, тогда как понятие гидравлического градиента (или гидравлического уклона) широко использовалось инженерами и геологами при изучении передвижения (или тока) грунтовой воды в насыщенных почвах и горных породах.

Градиент потенциала имеет физическую размерность силы на единицу массы ( $F/M$ ), тогда как гидравлический градиент представляет отношение длины к длине и поэтому имеет нулевую физическую размерность. Константа передачи, гидравлическая проницаемость и коэффициенты проницаемости ( $k_p$ ) имеют физическую размерность длины, деленной на время, т. е.  $L/T$ .

Из изложенного выше видно, что пока еще не имеется общего соглашения в выборе основного коэффициента фильтрации или передачи, или проницаемости при изучении передвижения воды в почвах как насыщенных, так и ненасыщенных, а отсюда отсутствует также общее соглашение относительно применения понятия градиента потенциала или гидравлического градиента<sup>1</sup> в уравнении потока воды в почвах.

В виду широкого применения в практике инженерной гидравлики (в Америке) куб. фута в качестве единицы объема, кв. фута в качестве единицы площади и секунды в качестве единицы времени, эти единицы применяются ниже для измерения удельной водопроницаемости ( $k$ ). Неудобство мелких дробных величин  $k$ , получающихся вследствие применения секунды в качестве единицы времени, устраняется применением отрицательного показателя степени, например:

$$3/10\ 000 = 0,0003 = 3 \times 10^{-4}.$$

Инженеры-мелиораторы при определении водопроницаемости применяют различные единицы объема, площади и времени: куб. футы на кв. фут за сутки, или акро-дюймы на акр за час (или просто высота в дюймах за час), и, наконец, куб. футы на акр в секунду. Так как ток воды обычно идет в направлении вертикально вниз под действием силы тяжести, то принимают, что гидравлический градиент  $h_p/l$  уравнения (49) равен единице. В таблице 9, применяя эти комбинации единиц, эквивалентные проницаемости сравниваются с удельной водопроницаемостью в пределах от  $3,59 \times 10^{-9}$  до  $1,80 \times 10^{-5}$ . Объяснения к таблице 9 имеются в § 142. Преимуществом в применении удельной водопроницаемости ( $k$ ) является то, что ее численное значение, выраженное в куб. футах на кв. фут в секунду, как например, в уравнении (49), не изменяется, если единицы объема

<sup>1</sup> Инженеры-исследователи могут разрабатывать методы и аппаратуру для измерения капиллярной высоты напора, пропорциональной, но не равной капиллярному потенциалу, измеряемому физиками. Инженеры в таком случае применили бы градиент капиллярной высоты напора, комбинированной со скоростью в изменении напора, обусловленного изменением в положении, как гидравлический градиент в ненасыщенных почвах, который был бы пропорционален, но не равен градиенту потенциала.

ТАБЛИЦА 9

СОТНОШЕНИЕ ПРОНИЦАЕМОСТИ ПОЧВЫ ДЛЯ ВОДЫ, ВЫРАЖЕННОЙ  
В РАЗЛИЧНЫХ ЕДИНИЦАХ, И УДЕЛЬНОЙ ВОДОПРОВОДИМОСТИ

| №<br>строк | Проницаемость                                  |                                     |                               | Удельная водо-<br>проводимость<br>(с) |
|------------|--|-------------------------------------|-------------------------------|---------------------------------------|
|            | 1  | 2                                   | 3                             |                                       |
|            | в куб. футах на<br>ни. фут за сутки<br>(24 ч.) | в дюймах<br>поверхности<br>за 1 час | в куб. футах<br>в сек. на анр |                                       |
| 1          | 0,01   | 0,005                               | 0,005                         | $3,59 \times 10^{-9}$                 |
| 2          | 0,02   | 0,010                               | 0,010                         | $7,18 \times 10^{-9}$                 |
| 3          | 0,03   | 0,015                               | 0,015                         | $1,08 \times 10^{-8}$                 |
| 4          | 0,04   | 0,020                               | 0,020                         | $1,44 \times 10^{-8}$                 |
| 5          | 0,05   | 0,025                               | 0,025                         | $1,80 \times 10^{-8}$                 |
| 6          | 0,06   | 0,030                               | 0,030                         | $2,16 \times 10^{-8}$                 |
| 7          | 0,07   | 0,035                               | 0,035                         | $2,52 \times 10^{-8}$                 |
| 8          | 0,08   | 0,040                               | 0,040                         | $2,87 \times 10^{-8}$                 |
| 9          | 0,09   | 0,045                               | 0,045                         | $3,23 \times 10^{-8}$                 |
| 10         | 0,10   | 0,050                               | 0,050                         | $3,59 \times 10^{-8}$                 |
| 11         | 0,20   | 0,100                               | 0,100                         | $7,18 \times 10^{-8}$                 |
| 12         | 0,30   | 0,150                               | 0,150                         | $1,08 \times 10^{-7}$                 |
| 13         | 0,40   | 0,200                               | 0,200                         | $1,43 \times 10^{-7}$                 |
| 14         | 0,50   | 0,250                               | 0,250                         | $1,80 \times 10^{-7}$                 |
| 15         | 0,60   | 0,300                               | 0,300                         | $2,16 \times 10^{-7}$                 |
| 16         | 0,70   | 0,350                               | 0,350                         | $2,52 \times 10^{-7}$                 |
| 17         | 0,80   | 0,400                               | 0,400                         | $2,87 \times 10^{-7}$                 |
| 18         | 0,90   | 0,450                               | 0,450                         | $3,23 \times 10^{-7}$                 |
| 19         | 1,00   | 0,500                               | 0,500                         | $3,59 \times 10^{-7}$                 |
| 20         | 1,20   | 0,600                               | 0,600                         | $4,32 \times 10^{-7}$                 |
| 21         | 1,40   | 0,700                               | 0,700                         | $5,02 \times 10^{-7}$                 |
| 22         | 1,60   | 0,800                               | 0,800                         | $5,75 \times 10^{-7}$                 |
| 23         | 1,80   | 0,900                               | 0,900                         | $6,46 \times 10^{-7}$                 |
| 24         | 2,00   | 1,000                               | 1,000                         | $7,18 \times 10^{-7}$                 |
| 25         | 2,20   | 1,100                               | 1,100                         | $7,90 \times 10^{-7}$                 |
| 26         | 2,40   | 1,200                               | 1,200                         | $8,62 \times 10^{-7}$                 |
| 27         | 2,60   | 1,300                               | 1,300                         | $9,34 \times 10^{-7}$                 |
| 28         | 2,80   | 1,400                               | 1,400                         | $1,01 \times 10^{-6}$                 |
| 29         | 3,00   | 1,500                               | 1,500                         | $1,08 \times 10^{-6}$                 |
| 30         | 3,20   | 1,600                               | 1,600                         | $1,15 \times 10^{-6}$                 |
| 31         | 3,40   | 1,700                               | 1,700                         | $1,22 \times 10^{-6}$                 |
| 32         | 3,60   | 1,800                               | 1,800                         | $1,29 \times 10^{-6}$                 |
| 33         | 3,80   | 1,900                               | 1,900                         | $1,37 \times 10^{-6}$                 |
| 34         | 4,00   | 2,000                               | 2,000                         | $1,44 \times 10^{-6}$                 |
| 35         | 4,50   | 2,250                               | 2,250                         | $1,62 \times 10^{-6}$                 |
| 36         | 5,00   | 2,500                               | 2,500                         | $1,80 \times 10^{-6}$                 |
| 37         | 6,00   | 3,000                               | 3,000                         | $2,16 \times 10^{-6}$                 |
| 38         | 7,00   | 3,500                               | 3,500                         | $2,52 \times 10^{-6}$                 |
| 39         | 8,00   | 4,000                               | 4,000                         | $2,87 \times 10^{-6}$                 |
| 40         | 9,00   | 4,500                               | 4,500                         | $3,23 \times 10^{-6}$                 |
| 41         | 10,00  | 5,000                               | 5,000                         | $3,59 \times 10^{-6}$                 |
| 42         | 15,00  | 7,500                               | 7,500                         | $5,38 \times 10^{-6}$                 |
| 43         | 20,00  | 10,00                               | 10,000                        | $7,18 \times 10^{-6}$                 |
| 44         | 25,00  | 12,50                               | 12,50                         | $8,98 \times 10^{-6}$                 |
| 45         | 30,00  | 15,00                               | 15,00                         | $1,08 \times 10^{-5}$                 |
| 46         | 35,00  | 17,50                               | 17,50                         | $1,26 \times 10^{-5}$                 |
| 47         | 40,00  | 20,00                               | 20,00                         | $1,44 \times 10^{-5}$                 |
| 48         | 45,00  | 22,50                               | 22,50                         | $1,62 \times 10^{-5}$                 |
| 49         | 50,00  | 25,00                               | 25,00                         | $1,80 \times 10^{-5}$                 |

и площади перевести соответственно на куб. см и на кв. см<sup>1</sup>.

**142. Водопроницаемость насыщенных почв.** По определению водопроницаемости песков и тонкого гравия в условиях полного насыщения были произведены обширные исследования. Применение песка для фильтров и для очистки городских водопроводов и исследование притока воды в колодцах возбуждали интерес к вопросу о водопроницаемости песка и гравия.

Сравнительно мало внимания уделяли изучению водопроницаемости почв в связи с вопросами орошения и осушения.

Слихтер нашел, что коэффициент фильтрации пропорционален квадрату действующего диаметра почвенных частиц, а также что он в значительной степени зависит и от размеров пор в почве. Ввиду невозможности измерения действующего диаметра пор в естественных почвах, особенно в мелкоземистых, весьма желательны непосредственные экспериментальные определения удельной водопроницаемости ( $k$ ) или ( $k_v$ ), независимо от попыток измерения диаметра или площади поперечного сечения пор или водных пленок, по которым происходит ток воды.

Таблица 9 охватывает широкие пределы проницаемости: от 1/100 до 50 куб. футов на кв. фут почвы за 24 часа, т. е. с относительным колебанием в пределах от 1 до 5000. Для иллюстрации применения таблицы 9 читатель может вычислить, например, что почва с удельной водопроницаемостью ( $k$ ), равной  $3,59 \times 10^{-7}$  (см. 4 столбец), пропускает за 24 часа под действием силы тяжести 1 куб. фут воды через 1 кв. фут поверхности почвы. 2 столбец дает цифры проницаемости в дюймах воды на поверхности в час, что эквивалентно акро-дюймам на акр в час. Из гл. III читатель помнит, что 1 куб. фут/сек равен примерно 1 акро-дюйму в час. На основе этого приближения, 3 столбец таблицы 9 дает число куб. футов в секунду, необходимых для поддержания тока воды, просачивающейся вертикально вниз через один акр почвы, имеющей различные проницаемости и удельные водопроницаемости. Например, строка 24 показывает, что ток в 1 куб. фут/сек на акр равняется 2 куб. футам на кв. фут за 24 часа, и эта проницаемость эквивалентна удельной водопроницаемости  $7,18 \times 10^{-7}$ .

Цифры, приводимые в таблице 9, помогут читателю разобраться в опытных данных по измерению проницаемости, приведенных в таблице 10. Эти измерения были произведены автором в те-

<sup>1</sup> Этот факт очевиден при замене куб. футов на кв. фут в секунду, на куб. см на кв. см в секунду. Для единицы площади и градиента потенциала, когда  $q = kg$

$$k = \frac{q \text{ (куб. фут/сек. на кв. ф.)}}{g \text{ (футы в сек.}^2)} = \frac{(30,5)^3 q \text{ (куб. см/сек. на } (30,5)^2 \text{ кв. см)}}{30,5 g \text{ (см в сек.}^2)},$$

а поэтому

$$k = \frac{q \text{ (куб. см в сек. на кв. см)}}{g \text{ (см в сек.}^2)}$$

чение 1917—1923 гг. на полевых почвах двумя методами, названными в 7 столбце таблицы 10 «методом цилиндра» и «методом делянок». По первому методу в почву в ее естественном состоянии вгонялись железные цилиндры 45 см в диаметре и 50 см высоты, открытые с обоих концов. Отмеренные количества воды добавлялись в почву достаточно часто, чтобы постоянно поддерживать слой воды над ней, но при этом настолько мелкий, чтобы не создавать большого давления. Проницаемость определялась путем измерения скорости падения водного уровня за каждые полчаса и за более длинные промежутки.

Сходные измерения были произведены полевым деляночным методом, отличавшимся в общем лишь большей площадью затопления. Площадь делянок равнялась от 2,88 до 112,8 кв. м (от 32 до 1254 кв. фута). Как видно из табл. 10 (стр. 170), проницаемость супеси уменьшается примерно до половины за 4-часовой период, после чего она остается постоянной. Суглинок в Айдаго обнаруживает постепенное снижение проницаемости. Измерение на глубоком суглинке в Логане на делянке *A* обнаруживает быстрый ток лишь вскоре после смачивания. На делянках *B* и *C* более высокая проницаемость наблюдается вскоре после смачивания, а более низкая—более чем через 12 часов после смачивания и дает равномерный ток. Хорошо известно, что глинистые почвы передают воду медленно. Однако до настоящего времени систематических измерений удельной водопроницаемости глинистых почв произведено немного. Мало того, большинство измерений водопроницаемости глинистых почв до сих пор производилось в лабораторных условиях. Наиболее низкая водопроницаемость насыщенной почвы, известная автору, упоминалась Гарднером (Gardner) для тяжелой глины в долине Каш в штате Юта— $k$  равнялось  $1 \times 10^{-9}$ . Работая с тяжелой глиной, взятой из естественного места залегания в поле около Диксона в Калифорнии, автор нашел водопроницаемость в  $6,3 \times 10^{-9}$ , что примерно в 6 раз превышает водопроницаемость глины из Каш, исследованной Гарднером.

Кинг давно нашел широкие колебания в проницаемости почв для воды. Удельная водопроницаемость ( $k$ ), вычисленная из его данных, для мелкоземистых болотных почв равняется  $2,1 \times 10^{-5}$ , для глин— $4,8 \times 10^{-3}$ , для мелкого песка  $1,2 \times 10^{-6}$ , для грубого песка— $9,0 \times 10^{-6}$ . Гарднер нашел для песка  $k$  равным  $4 \times 10^{-5}$ . Отношение водопроницаемости грубого песка, изученного Гарднером, к водопроницаемости песка, испытанного Кингом, равняется 4,4.

**143. Установившийся капиллярный ток воды.** Ток воды в ненасыщенных почвах называется капиллярным. На орошаемых почвах редко наблюдается установившийся ток капиллярной влаги, аналогичный, обычному току воды в каналах; этот ток обычно меняется во времени. Однако, в известных условиях, как, например, при капиллярном токе вертикально вверх от высокого уровня грунтовой воды к поверхности почвы, ток при условии достаточной продолжительности приближается к стационарному. Знакомство с величиной такого тока имеет важное значение

ПОЛЕВЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОНИЦАЕМОСТИ И УДЕЛЬНОЙ ВОДОПРОВОДИМОСТИ  
РАЗЛИЧНЫХ НАСЫЩЕННЫХ ПОЧВ

| Тип почвы                | Месторасположение поля | Время             | Куб. футов на кв. фут за 24 ч. | Васота в дюймах за 1 час | Куб. фут/сек на кв. дюйм | Удельная водопроницаемость (K) | Методика                      |                        |                             |                |                      |
|--------------------------|------------------------|-------------------|--------------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------------|-------------------------------|------------------------|-----------------------------|----------------|----------------------|
| 1                        | 2                      | 3                 | 4                              | 5                        | 6                        | 7                              |                               |                        |                             |                |                      |
| Супесь                   | Хайрум, Юта            | 1-й час           | 4,88                           | 2,44                     | 2,44                     | $1,7 \times 10^{-6}$           | Цилиндры в 45 см              |                        |                             |                |                      |
|                          |                        | 2-й »             | 2,92                           | 1,46                     | 1,46                     | $1,0 \times 10^{-6}$           |                               |                        |                             |                |                      |
|                          |                        | 3-й »             | 3,00                           | 1,50                     | 1,50                     | $1,1 \times 10^{-6}$           |                               |                        |                             |                |                      |
|                          |                        | 4-й »             | 2,50                           | 1,25                     | 1,25                     | $9,0 \times 10^{-7}$           |                               |                        |                             |                |                      |
|                          |                        | 5-й »             | 2,50                           | 1,25                     | 1,25                     | $9,0 \times 10^{-7}$           |                               |                        |                             |                |                      |
| Суглинок средней глубины | Грэн, Айдаго           | —                 | 1,00                           | 0,50                     | 0,50                     | $3,6 \times 10^{-7}$           | Делянка в 2,25 м <sup>2</sup> |                        |                             |                |                      |
|                          |                        | Централль, Айдаго | —                              | 1,24                     | 0,62                     | 0,62                           |                               | $4,4 \times 10^{-7}$   | Делянки 1,62 м <sup>2</sup> |                |                      |
|                          |                        |                   | —                              | 0,68                     | 0,34                     | 0,34                           |                               | $2,4 \times 10^{-7}$   |                             | Цилиндры 45 см |                      |
|                          |                        |                   | —                              | 0,76                     | 0,38                     | 0,38                           |                               | $2,7 \times 10^{-7}$   |                             |                |                      |
| Глубокий суглинок        | Логан, Юта (Гринвилль) | Делянка           |                                | 9,0                      | 4,5                      | 4,5                            | $3,2 \times 10^{-6}$          | Делянки 9,9 м × 11,4 м |                             |                |                      |
|                          |                        | A—1-й день        | 5,68                           |                          |                          |                                |                               |                        | 2,84                        | 2,84           | $2,0 \times 10^{-6}$ |
|                          |                        | B—1-й »           | 2,24                           |                          |                          |                                |                               |                        | 1,12                        | 1,12           | $8,0 \times 10^{-7}$ |
|                          |                        | 2-й »             | 4,78                           |                          |                          |                                |                               |                        | 2,39                        | 2,39           | $1,7 \times 10^{-6}$ |
|                          |                        | C—1-й »           | 1,48                           |                          |                          |                                |                               |                        | 0,74                        | 0,74           | $5,3 \times 10^{-7}$ |
|                          | 2-й »                  | —                 | —                              | —                        | —                        | —                              |                               |                        |                             |                |                      |
|                          | Ричфильд, Юта          | —                 | 1,40                           | 0,70                     | 0,70                     | $5,0 \times 10^{-7}$           | Цилиндры 45 см                |                        |                             |                |                      |

в орошаемых районах. Установившийся капиллярный ток вертикально вверх может быть полезен, снабжая водой корни растений, но он может быть и вреден не только вследствие потери воды, перенесенной к поверхности почвы путем испарения, но и благодаря вынесению к поверхности значительных количеств солей, что снижает продуктивность почвы. В данном случае предполагается, что существуют условия, достаточные для поддержания постоянного тока. Однако имеется много капиллярных токов, очень важных для земледелия, которые меняются не только изо дня в день, но и от часа к часу. Измерения таких неустановившихся токов сравнительно менее ценны, чем измерения постоянных, так как они связаны с изменяющимися факторами и, кроме того, трудно выполнимы.

В ненасыщенной влагой полевой почве однообразного механического состава и структуры равнодействующая движущая сила на единицу массы воды, вызывающая ее передвижение,

является отрицательным градиентом суммы гравитационного и капиллярного потенциалов <sup>1</sup>.

Для иллюстрации применения градиента капиллярного потенциала при определении тока капиллярной воды через трубы малого диаметра в определенном направлении рассмотрим следующие случаи.

**144. Установившийся горизонтальный капиллярный ток.** Горизонтальный ток капиллярной воды через почву в трубке узкого диаметра обуславливается различным значением капиллярного потенциала в различных точках трубки. Различие капиллярных потенциалов возникает в значительной степени от различий в почвенной влажности.

Рассмотрим, например, горизонтальный капиллярный ток внутри трубки узкого диаметра с непроницаемыми стенками, наполненной почвой и один конец которой соединен пористой стенкой с водным резервуаром согласно рис. 102. Уровень воды поддерживается на одной высоте с осью трубы, и поэтому положительное давление воды в почве отсутствует. Почва снабжается водой через пористую пластинку из резервуара, представленного на рис. 102 слева. Предположим, что почва является гревильским суглинком той же температуры, механического состава и структуры, как и почва *B* на рис. 101. Предположим, что влажность почвы в трубе на расстояниях 10, 60, 120, 180 и 240 см от источника воды в процентах соответственно равняется 40,0; 26,0; 21,0; 18,5 и 17,0. Капиллярный потенциал, соответствующий каждой одной влажности для 4 различных почв, может быть найден из рис. 101. Кривая *V* показывает, что у свободной водной поверхности, где капиллярный потенциал равен нулю, процент влажности равняется 40, а также, что в тех точках, где капиллярные потенциалы равны 100, 200, 300 и 400 г/см на 1 г, проценты влажности соответственно равны 26,0; 21,0; 18,5 и 17,0. Градиент капиллярного потенциала в почвенном столбе (рис. 102) равен поэтому  $100/61 = 1,64$  г на 1 г или  $980 \times 1,64$  дины на 1 г. Памятуя, что гравитационный потенциал не изменяется вдоль уровня трубы, из уравнения (49) следует, что

$$q = k \ 980 \times 1,64 \text{ куб. см в сек на кв. см,}$$

<sup>1</sup> За последние годы Гарднер и Ричардс значительно продвинули вперед методику измерения капиллярного потенциала. Детали этой методики читатель может найти в работах, указанных в литературе к настоящей главе в конце книги.

Знак  $\Phi$  применяется физиками для изображения суммы потенциалов, а  $d\Phi/dr$  — для изображения градиента суммы потенциалов. Количество капиллярной влаги, переданной через ненасыщенную почву, выражается тогда уравнением:

$$q = k \frac{d\Phi}{dr} a.$$

Значение  $k$  и  $a$  то же, что и в уравнении (49), а  $d\Phi/dr$  аналогично выражению  $gh_f/l$  того же уравнения. Градиент  $d\Phi/dr$  можно рассматривать как векторную сумму двух частей: 1) градиента капиллярного потенциала и 2) градиента гравитационного потенциала.

или

$$q = k \, 32,2 \times 1,64 \text{ куб. фута в сек на кв. фут.}$$

Для капиллярного тока удельная водопроводимость ( $k$ ), вероятно, меньше, чем для тока в насыщенной почве. Возьмем для примера величину  $k$  из работы Гарднера на Гринвилльской почве, где в среднем она равняется  $1,2 \times 10^{-8}$  для капиллярного тока. Подставляя это значение  $k$ , мы увидим, что в связи с предполагаемыми изменениями во влажности почвы последняя передаст по горизонтальной трубе (на рис. 102) количество воды, равное:

$$q = \frac{1,2 \times 32,2 \times 1,64}{10^8} = 6,3 \times 10^{-7} \text{ куб. фут/сек на кв. фут,}$$

что равно  $6,3 \times 10^{-7} \times 8,64 \times 10^{-4} = 0,054$  куб. ф. на кв. фут за 24 часа = 1,62 куб. фута на кв. фут за месяц.

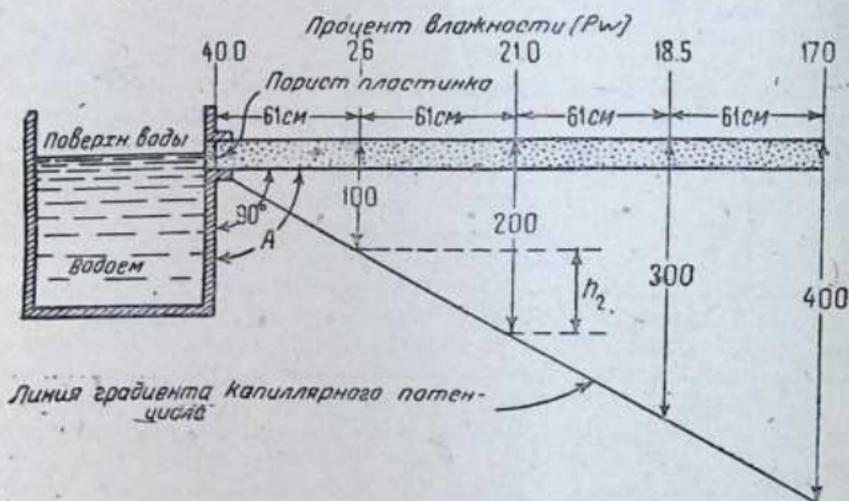


Рис. 102. Равномерный капиллярный ток в горизонтальной трубе малого диаметра, содержащей почву, увлажненную до 40% на левом конце и до 17% на правом; равномерный градиент капиллярного потенциала в  $1,64 \times 980$  дин на 1 г почвенной воды.

#### 145. Установившийся капиллярный ток через наклонную трубу.

Ток через наклонную трубу зависит от изменений потенциала в связи с расположением различных точек вдоль трубы и с изменением потенциала, обусловленным различиями во влажности почвы. Предположим для примера, что труба на рис. 102 соединена с водным резервуаром при помощи эластичной резиновой трубки, как представлено на рис. 103, с тем, чтобы иметь возможность произвольно придавать ей любое положение от вертикального вниз до вертикального вверх. Угол между трубой и резервуаром может быть любым, начиная от  $0^\circ$ , когда спускной конец трубы ниже резервуара, и до  $180^\circ$ , когда он располага-

ется выше резервуара. Предположим, что градиент капиллярного потенциала остается постоянным для всех положений трубы. Тогда общая сила, действующая на каждую единицу массы почвенной воды в направлении оси трубы, представляет сумму составляющей силы тяжести в данном направлении на единицу массы, плюс отрицательный градиент капиллярного потенциала. Пусть угол между направлением тока и вертикалью будет обозначен буквой  $A$ . Применение уравнения (49) в данном случае иллюстрируется рис. 103. Две точки во влажной почве, обозначенные 1 и 2, лежат на расстоянии  $l$ , а расстояния точек по вертикали от горизонтальной поверхности уровня воды представлены соответственно буквами  $h'$  и  $h''$ .

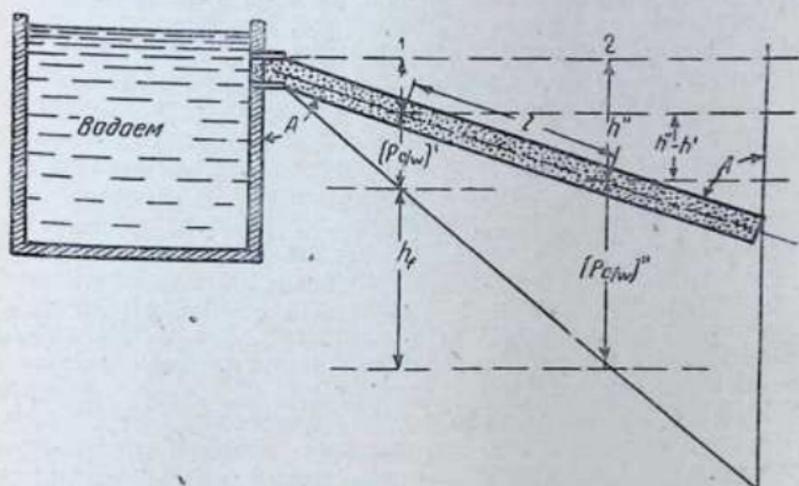


Рис. 103. Капиллярный ток воды через наклонную трубу (применены символы, принятые инженерами для обозначения напора, обусловленного положением и капиллярным давлением).

Высоты капиллярного напора представлены выражениями  $(p_c/w)'$  и  $(p_c/w)''$ . Сумма напоров, обусловленная положением и капиллярным давлением, в точке 1 равна  $(h' + p_c'/w)$ , а в точке 2 —  $(h'' + p_c''/w)$ , разность же этих двух сумм представлена как  $h_r$ . Изменение величины общего потенциала между двумя точками равно  $gh_r$ , а градиент потенциала вдоль трубы равен  $gh_r/l$ , что может быть выражено в следующем виде:

$$g \left( \frac{h'' - h'}{l} + \frac{p_c''/w - p_c'/w}{l} \right).$$

Отношение  $\frac{-h'}{l} = \cos A$ , а принимая далее, что скорость изменения капиллярного потенциала та же, что и в предыдущем примере, из предыдущего следует, что

$$q = 32,2 k (\cos A + 1,64) \text{ куб. фут/сек на кв. фут.}$$

достичь большой точности при вычислении потока воды через почву. Мало того, удельная водопроводимость ( $k$ ) в данной насыщенной почве варьирует со временем при условии, что почва подвергается различным физическим и химическим воздействиям. Хотя дальнейшие исследования могут выявить ограничения этого важного закона, сейчас, повидимому, имеется самая настоятельная необходимость в экспериментальной оценке удельной водопроводимости ( $k$ ) многих почв и притом в разнообразных условиях. Эта необходимость особенно неотложна в отношении мелкоземистых почв, которые, как правило, обладают низкой удельной водопроводимостью. В течение последнего полстолетия инженеры значительно уточнили методы определения пропускной способности рек, каналов, труб и других водопроводов, экспериментально оценивая коэффициент шероховатости ( $n$ ) в уравнении (11). Вопрос о передвижении воды в почвах может быть также продвинут вперед, сосредоточивая экспериментальную работу на оценке удельной водопроводимости и ее взаимосвязи с важнейшими свойствами почвы, включая сюда и влажность. Широкие исследования фактора  $k$  увеличат пользу и уменьшат ограничения в применении уравнений, приведенных в этой главе.

## ГЛАВА XI

### ОРОШЕНИЕ И ЗАСОЛЕНИЕ ПОЧВЫ

Бесплодность почв засушливых районов является результатом двух основных факторов — засухи и засоления. Хотя солончаки характерны для засушливых районов, они все же не представляют общего явления и не распространены равномерно. Бесплодие, обусловленное одной лишь засухой, во многих засушливых районах обрабатывалось орошением в плодородие. Мелиорация засоленных земель и предотвращение явлений засоления на плодородных орошаемых землях являются задачами первостепенной важности.

В западной части США в долинах Сан-Хоакин, Сакраменто и Империяль в Калифорнии; в Великом бассейне, охватывающем значительную часть штатов Юта и Невада; по реке Колорадо, охватывающей части штатов Вайоминг, Юта, Колорадо, Аризона и Калифорнии; в районе реки Рио-Гранде, включающей части штатов Новой Мексики и Техаса, а также в отдельных частях бассейна реки Колумбия и в области Великих равнин к востоку от Скалистых гор — всюду имеются значительные площади земель, бесплодие которых обусловлено засолением. Также встречаются бесплодные засоленные земельные площади в Канаде, Мексике, в Азии, Индии и Австралии<sup>1</sup>.

**148. Климат и засоление.** Почвы засушливых районов содержат относительно большие количества растворимых солей. Во влажных районах, где выпадает большое количество осадков, вода просачивается через почву и уносит с собой значительные количества растворимых минеральных веществ в реки, озера и моря. Напротив, в засушливых районах с малым количеством осадков последние не проникают столь глубоко, чтобы вызвать заметное вымывание солей. Наибольшая глубина проникания влаги от естественных осадков, как талого снега, так и дождей влажного периода года, варьирует в пределах от 30 до 120 см в зависимости от количества и времени выпадения осадков и от природы почвы. Недостаточное просачивание

<sup>1</sup> Применяемый на английском языке термин для обозначения солончаков «салькали» (alkali), хотя в буквальном смысле слова и означает щелочь, в применении к почвам относится ко всем растворимым солям в почве, находящимся в достаточно высокой концентрации, чтобы повредить растениям, независимо от того, являются ли эти соли щелочными с химической точки зрения.

воды в почвах и наряду с этим избыточное ее испарение обуславливает в засушливых районах накопление значительных количеств вредных для растений растворимых солей.

**149. Источники засоления.** Все минеральные соли происходят в значительной степени от выветривания горных пород. Стюарт, Петерсон и Гривс (Stewart, Peterson and Greaves) показали, что имеется тесная связь между современным составом солей солончаковых почв и солей горных пород, из которых произошли данные почвы. Своими обширными работами по изучению геологических формаций в штатах Юта, Колорадо, Аризона, Вайоминг, Айдахо и Невада названные ученые установили, что там, где только имеется значительное засоление, оно очевидно произошло от отложений из концентрированных солевых вод древних водоемов в условиях засушливого климата. Сланцы Манкос представляют типичную горную породу, содержащую значительное количество солей, характерных для солончаков. Почвы, непосредственно образовавшиеся из этой горной породы, обычно сильно засолены.

Незасоленные почвы засушливых районов иногда теряют плодородие при применении орошения вследствие избыточного содержания солей в поливной воде. Вода, источником которой являются талые снега, и дожди горных районов, где имеются горные породы, богатые растворимыми солями, часто содержат значительные количества солей. Поливная вода, как источник солей, рассматривается ниже в § 161.

**150. Виды солей.** К числу солей, засоряющих обычно почвы, принадлежат хлориды, сульфаты, карбонаты и нитраты натрия, калия и магния, а также нитраты и хлориды кальция. Карбонаты и сульфаты кальция недостаточно растворимы, чтобы причинять вред растениям. Большинство этих солей нейтрально. Необходимо отметить, что некоторые важные для растений питательные вещества, как, например, калийная и натриевая селитра, присутствуя в почве в избыточном количестве, становятся вредными для растений. Как правило, в таких случаях обычно наиболее вредят натриевые соли, как наиболее растворимые. Углекислый, хлористый и сернокислый натрий требуют особого внимания при орошаемом земледелии. Из этих солей  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  в Америке обычно называют «блэк алькали», т. е. черной щелочью, хотя по цвету она и белая. Название это связано с тем, что эта соль разлагает органическое вещество в почве и обуславливает образование на поверхности почвы темноокрашенной корки.  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  и  $\text{NaCl}$  особенно вредны для растений.

**151. Передвижение солей в почве.** Если было бы возможно поддерживать на поливных землях такое распределение влажности, при котором вода постоянно передвигалась бы вниз, засоление причиняло бы лишь незначительный вред в орошаемом хозяйстве. Постоянное передвижение воды вниз постепенно снижало бы количество растворимых солей в верхних слоях почвы, из которых растения извлекают большую часть потребляемой ими воды и питательных веществ. Однако в отсутствии соответствующего дренажа просачивающиеся воды из приле-

гающих или отдаленных участков скоро заполняют все пустоты в глубоких слоях почвы и обуславливают повышение уровня грунтовой воды. В межполивные периоды высокие грунтовые воды поддерживают капиллярный ток воды кверху, к поверхности, где влага испаряется. Растворимые соли, поднимаемые кверху передвигающейся водой, не могут испариться и вследствие этого отлагаются близ поверхности почвы. Отложенные таким образом соли могут происходить из глубоко лежащих горизонтов, богатых растворимыми солями, но и одно лишь концентрирование на поверхности при нормальном распределении количества солей во всей толще корнеобитаемого слоя может причинить значительный вред.

В своей книге «Засоление почв» Гаррикс (Harris) пишет:

«В какой мере соли переносятся вместе с водой, передвигающейся через почву, изучалось рядом исследователей. В лабораторных опытах с засоленными почвами, в которых влажность все время поддерживалась таким образом, чтобы вызывать постоянное передвижение воды, автор наблюдал, что растворимые соли, особенно хлористый натрий, легко переносятся из одной части почвы в другую как снизу вверх, так и горизонтально. Соли сильно концентрировались в верхних 3—5 см почвы, где вода испарялась. Первая вода, просачивавшаяся через засоленную почву, содержала во много раз больше солей, чем последующие порции. Тулайков нашел, что соли постепенно и почти полностью передвигаются к поверхности почвенного столба в 150 см высоты, снабжаемого снизу водой. Хильгард (Hilgard), так же как и Пэчнер (Puchner) и др., наблюдали миграцию солей кверху и книзу в зависимости от передвижения влаги.

«Последний, проведя опыты с кварцевым песком, суглинком и богатой гумусом почвой, нашел, что передвижение зависит до некоторой степени от химических и физических свойств почвы. Распыленные почвы легче допускали передвижение солей, чем почвы комковатой структуры. Коссович отметил более быстрое передвижение в глинистом лессе, чем в песчаной почве. Хлористый натрий, согласно его данным, ускорял поднятие воды, тогда как уголекислый натрий замедлял его. Весьма возможно, что те различия как в природе солей, так и в их концентрации, которые так часто наблюдаются на засоленных полях, зависят хотя бы частично от изменений в природе почв, которые в свою очередь воздействуют на капиллярную активность. На основании своих исследований по передвижению влаги в почве Бриггс и Лэпхэм (Briggs and Larham) пришли к заключению, что концентрированные или насыщенные растворы всех солей заметно снижают капиллярную активность, но что в разбавленных растворах нейтральные соли очень мало влияют на нее. Они нашли, что уголекислый натр сильнее влияет на капиллярность, чем другие нейтральные соли.

«Степень передвижения солей кверху и книзу при орошении в поле еще не определялась с достаточной точностью. Хиль-

гارد считает, что передвижение происходит преимущественно в верхних 120 см. Учитывая легкость, с которой соли передвигаются с водой, а также и результаты наблюдений над передвижением растворимых солей с поливными водами при отсутствии засоления, весьма возможно, что соли часто переносятся на значительные глубины, если тому не препятствуют непроницаемая подпочва или грунтовая вода. Исследования показывают, что вода редко вытягивается капиллярными силами к поверхности почвы с глубины большей 60—90 см, так что большая часть растворимых солей, проникающих за пределы этой глубины, никогда не возвращается к поверхности, если только не поднимается грунтовая вода. Передвижение воды на глубинах ниже 60—90 см, очевидно, вызывается удалением воды корнями растений или действием силы тяжести, так что вряд ли соли передвигаются здесь иначе, кроме как в силу местной диффузии или передвижения гравитационной или свободной воды».

**152. Влияние уровня грунтовых вод.** Чем ближе уровень грунтовых вод к поверхности почвы, тем больше движущая сила, обуславливающая передвижение воды вверх от грунтовой воды к поверхности. Влияние под'ема грунтовых вод на капиллярный ток кверху подобно влиянию увеличения крутизны канала: и то и другое усиливает скорость тока воды. В гл. X для читателя представляется возможность более ясно разобраться в вопросе, как влияет положение уровня грунтовых вод на градиент капиллярного потенциала, а следовательно, и на передвижение влаги кверху. Высокий уровень грунтовых вод также уменьшает сопротивление капиллярному току, благодаря тому, что он поддерживает относительно высокий средний процент влажности в почве над поверхностью воды. Как указывал Гаррис (Harris), основываясь на работах Хэддена и Мэки (Headden and Mackie), растворимые соли, растворенные просачивающейся вниз водой, удерживаются в слоях почвы близ поверхности массой грунтовых вод. Здесь они могут легко быть вытянуты обратным капиллярным током кверху к поверхности и отложены на ней по мере испарения влаги. Говоря о влиянии уровня грунтовых вод, Гаррис пишет:

«Хэдден довольно детально изучил влияние сезонного передвижения уровня грунтовых вод и отметил, что с падением их уровня значительная часть солей, растворенных в свободной воде, удерживалась почвой, так что свободная вода постепенно обеднялась солями с понижением уровня и обогащалась ими с повышением его. Он нашел, что состав и количество солей в почвенном растворе значительно отличаются от состава и количества их в свободной грунтовой воде или от солевых выпотов на поверхности солончаков. Некоторые из растворимых солей поглощались почвой, тогда как другие передвигались более свободно. Наиболее обильно в почвенном растворе встречался серноокислый кальций, на втором месте серноокислый магний, тогда как серноокислый натрий составлял значительную часть солевого выпота на поверхности и солей в верхних слоях

почвы. Хлористый натрий не выделялся так легко, как некоторые другие соли. Сернокислый кальций в очень незначительной степени выделялся из почвы на поверхность».

Земледельцы орошаемых районов часто указывают на преимущества поддержания грунтовых вод на уровне всего лишь нескольких футов ниже поверхности почвы, основываясь на высоких урожаях, получаемых в течение первых лет после под'ема воды с больших глубин. Благоприятное водоснабжение при повышенном уровне грунтовых вод действительно часто обуславливает высокие урожаи, но, как правило, в районах, где встречаются засоленные участки, временно благоприятные условия близости грунтовых вод сопровождаются впоследствии значительным понижением урожаев или даже полным бесплодием вследствие высокой концентрации солей, и потому нельзя не подчеркнуть необходимости осторожного и бережного потребления воды с тем, чтобы как можно далее отсрочить время под'ема уровня грунтовых вод, а также необходимости сооружения искусственного дренажа на площадях, где не имеется соответствующего естественного дренажа, удерживающего грунтовые воды на достаточно низком уровне.

**153. Сокращение испарения.** Главнейшим и чуть ли не единственным приемом уменьшения испарения на орошаемых землях является удержание грунтовой воды на достаточно глубоком уровне от поверхности почвы.

Существует, однако, ряд условий, усиливающих испарение, из которых можно отметить следующие:

а) орошение методом затопления, при котором смачивается вся поверхность;

б) слишком частые поливы, поддерживающие поверхность почвы относительно долго во влажном состоянии;

в) непосредственный нагрев почвы солнцем при отсутствии растительного покрова.

На засоленных почвах можно рекомендовать производить полив по бороздам после того, как почва была достаточно полита затоплением. Этим преследуются цели вымывания избытка растворенных в почве солей в грунтовые воды и дальнейшего удаления их путем естественного или искусственного дренажа. Следует отметить, что после полива по бороздам обычно раньше возможно выехать в поле с бороной или с другими орудиями обработки почвы, чем после полива затоплением. Полив по бороздам смачивает только от одной трети до половины поверхности, тогда как затопление смачивает всю поверхность. В культуре пропашных существенно рыхлить почву как можно скорее после полива; в противном случае, как показал Форбс (Forbes) в Аризоне, вода передвигается в силу капиллярности от борозд к рядкам и там испаряется, отлагая близ растений соли в концентрациях, вредных для них. Подземное орошение в благоприятных почвенных условиях позволяет избежать непосредственного смачивания поверхности почвы. Это преимущество, однако, не покрывает вредных последствий от подземного орошения, заключающихся в том, что последнее поддержи-

вает высокий уровень грунтовых вод и тем самым благоприятствует избыточному испарению. Как правило, считается желательным задавать на всех орошаемых землях такое количество воды за один полив, чтобы полностью смочить почву на всю глубину корнеобитаемой зоны возделываемых растений. Эта глубина равняется примерно от 60 до 180 см в зависимости от орошаемых растений и механического состава и структуры почвы. На засоленных почвах особенно важно при каждом поливе полностью увлажнять почву на ту глубину, где требуется дополнительная влага, так как это позволит уменьшить частоту поливов и тем самым снизить испарение.

Создание хорошей «мульчи»<sup>1</sup> путем прибавления обильного количества навоза, соломы или другого растительного материала в большой мере содействует снижению испарения. Навоз особенно ценен на засоленных почвах, так как помимо снижения испарения обладает еще и другими преимуществами. Задержка испарения на засоленных почвах крайне необходима. На слегка засоленных почвах полезно, насколько это возможно, поддерживать растительный покров, поглощающий воду и затеяющий почву, уменьшая тем самым испарение.

**154. Токсические пределы концентрации солей в почве.** Количество солей, допускающие развитие растений, колеблется в широких пределах. Характер почвы, органическое вещество в ней, влажность ее, природа и возраст растений, соотношение в количестве разных солей — все это влияет на токсичность засоленности для растений. Здесь нет возможности остановиться на детальном рассмотрении вопроса о токсических пределах, но для ориентировки можно привести несколько примерных цифр. Количество растворимых солей в почве приводится обычно в виде отношения веса соли к сухому весу почвы. Некоторые авторы выражают это процентным отношением, но, ввиду очень малых дробных цифр при выражении в процентах, в Америке засоленность обычно выражают в весовых частях соли на миллион весовых частей почвы. 1‰, т. е. 1 часть на 100 частей, равняется 10 частям на 1 000 и 10 000 ч. на 1 000 000 (P. P. M.)<sup>2</sup>. Культурные растения очень редко могут развиваться при содержании в почве 1‰ общего количества солей или 10 000 частей на миллион частей сухой почвы, особенно если преобладают более вредные из них — хлористый и углекислый натрий. Изучая влияние трех натриевых солей в отдельности в песчаных культурах, Гаррис (Harris) нашел, что примерным токсическим пределом для NaCl и Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> в песчаных культурах для проростков пшеницы является 1 000 частей на 1 000 000,

<sup>1</sup> Под «мульчей» в Америке принято понимать не только искусственный покров почвы, но и просто взрыхленный ее слой. Повидимому, и здесь автор подразумевает не покрытие почвы с поверхности, а внесение органического вещества в почву для создания такой структуры, которая обеспечила бы рыхлую поверхность. Примеч. переводчика.

<sup>2</sup> Parts per million, т. е. частей на миллион или ч. на м. Выражение это применяется обычно условно без обозначения того, к чему относится, т. е. сухого веса почвы. Примеч. переводчика.

тогда как  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  проростки выдерживали в концентрации 5 000 частей в 1 000 000. Эти токсические пределы значительно сдвинулись в сторону увеличения при повышении влажности почвы, достигая для  $\text{NaCl}$  5 700 ч. на 1 000 000 при 18% влажности, для  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  3 300 ч. на 1 000 000 при влажности в 21% и для  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  16 000 ч. на 1 000 000 при 24% влажности.

В книге Гарриса собрано много опытных данных по токсическим пределам солей. Эти опыты включали испытания целого ряда культур в воде, в песке и в суглинке.

**155. Временные меры борьбы с засолением.** Для временной борьбы с засолением на орошаемых землях иногда применяются следующие приемы:

- a) глубокое запахивание поверхностной засоленной корки;
- b) удаление солевых выветов с поверхности почвы;
- c) нейтрализация вредного действия известных солей применением других солей или кислот.

Для более детального рассмотрения этих методов читатель может обратиться к упомянутой ранее книге Гарриса «Засоление почв» и к новейшей литературе по данной теме.

**156. Дренаж в качестве коренного мероприятия по борьбе с засолением.** Для коренной мелиорации засоленных земель необходимо провести следующие четыре основные мероприятия:

- a) соответствующее снижение уровня грунтовых вод;
- b) вымывание избытка солей из почвы;
- c) обеспечение достаточно быстрого дренажа после сильных ливней и после поливов;
- d) тщательный уход за мелиорированными землями.

**157. Соответствующее снижение уровня грунтовых вод.** Заболоченные земли, независимо от того, засолены они или нет, мелиорируются для обычных культур путем снижения уровня грунтовых вод. Это не значит, что уровень должен быть снижен только на короткий период во время вегетации, наоборот, снижение должно быть длительным и соответствовать средствам, находящимся в руках земледельца, так чтобы он мог вполне предотвратить в любое время всякое повышение грунтовых вод. Первым шагом в деле снижения уровня грунтовых вод должно быть ознакомление с источником, вызывающим их повышение. В отдельных случаях на небольших участках один или небольшая группа фермеров может вскрыть источник воды и отвести его путем сооружения одной или нескольких пересекающих канав. Обычно в орошаемых районах небольшие заболоченные участки обуславливаются притоком надземной или подземной воды с вышележащих орошаемых участков или из каналов, прудов и водохранилищ. Фермер, земли которого расположены в пределах обширных земель, заболоченных приблизительно на одном уровне, обычно не имеет возможности с достаточной экономией снизить собственными средствами уровень грунтовых вод. Мелиорирование таких площадей сопряжено с специальными дренажными сооружениями, требующими значительных расходов.

В некоторых случаях достаточно сделать несколько больших открытых дренажных канав; в других необходимо сооружение

открытых дренажных стоков с сетью закрытых дренажных гончарных труб; наконец, в некоторых местностях снижение уровня грунтовой воды может быть достигнуто в достаточной степени эффективно и экономно путем выкачивания воды из подземных источников. За последнее десятилетие этим последним способом достигнуты огромные успехи в дренировании орошаемых земель. Так, ассоциация потребителей воды долины Соленой реки в Аризоне за последние годы выкачивала ежегодно более чем по 200 000 акро-футов воды, главным образом, с целью удержания уровня грунтовых вод на глубине, безопасной для растений. Выкаченная таким образом вода служила ценным пополнением оросительных ресурсов.

**158. Вымывание избытка солей.** Затопление в обычных количествах водой поверхности засоленных земель не является эффективной мерой для уменьшения содержания солей в почве. Для этого приходится применять большие количества воды на засоленных участках с тем, чтобы вода, просачиваясь через почву, вымыла бы избыток солей. Почвы грубого механического состава, крупно-структурные обладают настолько высокой проницаемостью, что легко поддаются промыванию после достаточного снижения уровня грунтовых вод. К сожалению, однако, на низко расположенных заболоченных площадях преобладают плотные мелкоземистые почвы с низкой проницаемостью. Таким образом, проницаемость почвы для воды является фактором первостепенной важности для вымывания избытка солей из большинства заболоченных почв. Проницаемость для воды зависит не только от механического состава и плотности почвы, но и от степени дисперсности почвенных частиц. Исследования последнего времени показали, что дисперсность, а следовательно, и проницаемость сильно изменяются под влиянием некоторых химических соединений. Вымывание растворимых солей иногда сопровождается понижением проницаемости; последнее снижает плодородие почвы, так как затрудняет доступ воздуха и воды.

**159. Дренаж после ливней и поливов.** Соответствующая проницаемость почвы имеет существенное значение не только для вымывания избытка солей, но и для удаления избытка воды после сильных ливней или поливов. Как указывалось в § 142, проницаемость почв для воды колеблется в очень широких пределах, более широких, чем это признано среди ирригаторов. В таблице 10 приведены данные по проницаемости и удельной водопроницаемости нескольких почв.

**160. Уход за засоленными землями.** Некоторые фермеры-ирригаторы, владеющие засоленными землями, на которых в соответствующей степени снижен уровень грунтовых вод и вымыт избыток солей, ошибочно считают, что на этом заканчивается работа по мелиорации. Коренное улучшение можно считать достигнутым только тогда, когда удается ежегодно на данных почвах получать большие урожаи. Обычно восстановление нормального плодородия или, в случае естественно засоленных земель, поднятие плодородия, требует больших забот и ухода после дренирования и промывания. Богатое унавоживание, зеле-

ное удобрение, воздержание от вспашки или других приемов обработки, когда почва слишком влажная, чрезвычайная осторожность при поливах для избежания перегрузки дренажных труб или насосов и связанного с этим поднятия уровня грунтовых вод, применение в то же время достаточного количества воды, чтобы обеспечить промачивание тяжелых почв, уход за дренажем, предотвращение избыточного испарения, — эти основные и некоторые другие менее важные меры предосторожности необходимы, при уходе за засоленными землями для длительного предотвращения заболачивания и засоления.

**161. Засоленные воды для орошения.** Исследователю, работающему в области орошения, важно учитывать, что в конечном итоге вся доступная вода в засушливых районах будет использована человеком. Хорошее качество воды существенно как для домашних целей, так и для целей орошения. В настоящее время во всех странах уже орошается около 80 млн га. Естественно, что спрос на воду в различных орошаемых местностях неодинаков, но только в очень немногих из засушливых районов мира общий запас воды, при условии его полной сохранности и регулирования, достаточно велик для орошения всех обрабатываемых земель. На некоторых участках, например, в районе реки Север в штате Юта, а также в некоторых районах Калифорнии, вся доступная вода уже мобилизована, т. е. так называемая «предельная точка расширения орошения»<sup>1</sup> в настоящее время здесь уже достигнута.

По мере приближения к предельной точке расширения оросительной сети увеличивается потребность в применении засоленных вод. Однако избыток солей в поливной воде приводит к гибели культурных растений. С другой стороны, небольшие дозы солей в воде не только безвредны, но даже в некоторых условиях стимулируют рост культурных растений. Поэтому совершенно очевидно, что для полного и разумного использования сельскохозяйственных ресурсов засушливых районов весьма важно ознакомиться с допустимыми пределами засоленности воды и с условиями, при которых засоленная вода может быть лучше всего использована для орошения.

**162. Вредные пределы засоленности воды.** Невозможно с точностью определить, какое количество солей в поливной воде является предельным по безопасности. Некоторые почвы, на которых применяется засоленная вода, содержат сравнительно большие количества солей еще до полива, другие, напротив, сравнительно свободны от солей. Если бы все растворимые соли поливной воды удерживались бы в верхних корнеобитаемых слоях орошаемой почвы, было бы просто вычислить количество прибавленной соли с каждым акро-футом полива и, следовательно, число акро-футов, доводящее содержание солей до токсических пределов, указанных в § 154. Однако, в условиях правильного дренажа, количества солей, поглощенных почвой, незначительны по сравнению с общим количеством заданной

<sup>1</sup> «Saturation point of irrigation expansion».

воды, особенно если воды было добавлено столько, чтобы обеспечить просачивание ее через почву в дренаж. Наряду с этим и другие факторы, как, например, особенности культуры, количество и распределение осадков,—также влияют на предельные безвредные количества солей в поливной воде.

Поэтому приводимые ниже наблюдения над верхним пределом засоленности воды, собранные Гаррисом (Harris) в его книге «Засоление почв», следует рассматривать не как точное руководство, пригодное для любых условий, а как данные, применимые лишь в тех специфических условиях, где проводились наблюдения.

«Хильгард (Hilgard) утверждает, что хотя 685 ч. обычных солей на 1 000 000 и должны быть пределом в большинстве условий, природа солей значительно видоизменяет эти пределы. Так, столь небольшие количества углекислого натрия, как 342 ч. на 1 000 000, оказывали в некоторых случаях значительное вредное действие на 3—4 год, тогда как 2 739 ч. на 1 000 000 менее ядовитых солей не оказывали вредного влияния. Макки (Mackie) утверждает, на основании своих работ в Калифорнии, что там, где соли представлены преимущественно углекислым и хлористым натром, не следует применять для полива воду, содержащую солей более 600—700 г на 1 млн. ч. воды, кроме как на пористых хорошо проницаемых почвах. Гутри (Guthrie) считает, что 500 ч. на 1 млн. углекислого натра вполне выносимы для растения, даже если при этом присутствует еще 150 ч. на млн. хлористого натра.

«Там, где соли более натронно-сульфатного типа, допустимы большие концентрации. Форбс (Forbes) констатирует, что при условии хорошего дренажа присутствие 1 000 ч. этих солей на млн. в поливной воде, хотя и нежелательная, но все же допустимая степень засоленности для почв района Соленой реки в Аризоне. В долине Пекос 2 500—3 000 ч. солей на 1 000 000 считалось опасным пределом, когда при этом около 50% этих солей в воде принадлежали к натриевым и содержали, главным образом, хлористый и сернокислый натрий. Хороший дренаж в верхней части долины дает возможность применять воду большей степени засоленности, чем это допустимо в более низменных частях долин, где почвы тяжелее и, повидимому, содержат больше солей. Земли, орошенные в течение пяти лет водой, содержавшей 3 900 ч. соли на 1 000 000, были покинуты вследствие накопления солей и застаивания поливных вод.

«Опыты в Вайоминге показывают, что там, где задаются небольшие количества поливной воды, все соли удерживаются почвой. Применение больших количеств воды еженедельно или два раза в неделю поддерживало постоянное передвижение солей вглубь. Минз (Means) сообщает, что арабы в пустыне Сахаре получают хорошие урожаи фиников, фруктов и овощей, орошая их водой, содержащей до 8 000 ч. общих солей на 1 000 000, из которых в некоторых случаях 50% составляет хлористый натрий. Такая высокая засоленность, однако, недопустима, за исключением случаев очень стойких культур на легких песчаных или хорошо

дренированных почвах и при достаточно внимательном уходе с предупреждением испарения и концентрации солей на поверхности.

«Одна из калифорнийских почв, политая водой, содержавшей 766 ч. хлористого натрия, 327 ч. углекислого натрия и 315 ч. сульфатов на млн., при отсутствии надлежащего дренажа через три года оказалась вредной для плодового сада. Непроницаемые глинистые почвы, в связи со способностью накапливать соли, могут пострадать от воды засоленной в такой малой степени, которая не оказывает заметного действия на хорошо дренированных землях.

«В Аризоне наблюдали, что даже на почве, хорошо дренированной, при применении воды, содержащей свыше 1000 ч. солей,  $\frac{2}{3}$  которых составлял хлористый натр, от 50 до 60% солей, полученных с водой, удерживались почвой или, во всяком случае, не появлялись в сточных водах с данного участка. Почвы, затопленные морской водой на 6—8 часов, содержали 2000 ч. хлористого натрия на 1000000 в поверхностном слое, тогда как незатопленная почва содержала всего только 100 ч. на 1000000. Однако в опыте по дренированию, произведенному в Суан Трэк в штате Юта, засоленная почва, содержащая менее 3000 ч. солей на 1000000 в верхних 120 см, после затопления водой, содержавшей около 1500 ч. солей, выделила в дренажных водах более 11000 ч. Нормы полива в этом опыте были выше, с доведением иногда до 40 см в один прием, что очень сильно изменяло способность почвы удерживать соли. Опыты на Гавайских островах с водой, содержащей солей до 2000 ч. на 1000000, показывают, что на почве средней пористости накапливалось очень немного солей при условии значительных поливных норм. Очень полезным для засоленных почв некоторых районов оказывалось промывание их время от времени относительно пресными снеговыми или весенними водами.

«В полузасушливых районах содержание солей в поливных водах может быть без вредных последствий для растений значительно выше, чем в засушливых, так как количество поливной воды, потребной для дополнения естественных осадков, здесь меньше. С другой стороны, большее количество дождевых вод быстрее вымывает соли из почвы».

**163. Происхождение солей в воде.** Соли в оросительных водах, получаемых из гравитационных каналов, могут происходить из трех источников:

- а) из естественных дренажных вод с водосборных площадей, содержащих большие количества растворимых солей в почве и горных породах;
- б) из рек или каналов, протекающих по почвенным или горным формациям, пропитанным солями;
- с) из отводных вод каналов и нижнего течения потоков и рек, получающих значительные количества просачивающихся или сливных вод с орошенных площадей.

Количества растворимых солей в естественных дренажных водах близ источников ручьев обычно настолько малы, что не

имеют значения. Однако небольшая речка Малад в южном Айдаго и в северной Юте содержит такое большое количество растворимых солей, что применение ее вод для полива очень скоро вредно сказалось на развитии сельскохозяйственных растений. В бассейне Уинта в штате Юта поливная вода, почти свободная от солей при закладке работ, в дальнейшем, по мере проведения каналов через пласты сланцев Манкос, поглотила большие количества солей.

Более значительным и опасным источником засоления поливных вод являются просачивание и сброс. Иллюстрацией этого факта могут служить данные по изучению содержания солей в воде в различных точках вдоль рек, пересекающих орошаемые земли и получающих сбросовые воды. В таблице 12 представлены цифры определений общего количества растворимых солей в пяти реках западной части США в различных точках, разделенных расстоянием от 14 до 180 миль; везде наблюдается значительное увеличение засоленности, если переходить от точек, расположенных выше, к нижележащим точкам.

ТАБЛИЦА 12

УВЕЛИЧЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ СОЛЕЙ В ВОДЕ В НЕСКОЛЬКИХ ТИПИЧНЫХ РЕКАХ ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ США, ОБУСЛОВЛЕННОЕ ПРОСАЧИВАНИЕМ И СБРОСОМ ВОДЫ С ОРОШЕННЫХ ПЛОЩАДЕЙ

(по данным, собранным Гаррисом)

| Река     | Ш т а т                 | Содержание солей в ч. на млн. |                | Увеличение содержания солей в ч. на млн. | Расстояние в милях | Увеличение содержания солей на милю (в ч. на млн.) |
|----------|-------------------------|-------------------------------|----------------|--|--------------------|--|
|          |                         | Верхнее течение               | Нижнее течение |  |                    |  |
| Колорадо | Колорадо . . . . .      | 110                           | 1 178          | 1 068                                    | 20                 | 53,4   |
| Жордан   | Юта . . . . .           | 890                           | 1 970          | 1 080                                    | 14                 | 77,0   |
| Севьер   | » . . . . .             | 205                           | 831            | 626                                      | 60                 | 10,4   |
| »        | » . . . . .             | 205                           | 1 316          | 1 111                                    | 150                | 7,4  |
| Пекос    | Новая Мексика . . . . . | 760                           | 2 020          | 1 260                                    | 30                 | 42,0   |
| »        | » . . . . .             | 760                           | 5 000          | 4 240                                    | 180                | 24,1   |
| Арканзас | Колорадо . . . . .      | сле-<br>ды                    | 2 200          | 2 200                                    | 120                | 18,3   |

Наибольшее увеличение на милю, а именно в 77,0 ч. на 1 000 000, получилось на реке Жордан в штате Юта, а минимальное — на реке Севьер того же штата. Из этих данных очевидно, что при отводе воды для полива из нижнего течения рек, питающихся просачиванием и сбросом с засоленных площадей, следует учитывать содержание солей в потребляемой воде и, в случае надобности, принимать меры предосторожности, чтобы избежать засоления почв и вытекающих отсюда вредных последствий для выращиваемых растений.

Содержание солей в поливной воде, судя по образцам, взятым из нескольких рек на западе США, колеблется в значительной степени в зависимости от времени года, как видно из таблицы 13.

ТАБЛИЦА 13

СЕЗОННЫЕ КОЛЕБАНИЯ СУММАРНОГО СОДЕРЖАНИЯ СОЛЕЙ В ТИПИЧНЫХ РЕКАХ НА ЗАПАДЕ США. КОЛИЧЕСТВО СОЛЕЙ ВЫРАЖЕНО В ЧАСТЯХ НА МИЛЛИОН ЧАСТЕЙ ВОДЫ

| Соленая река,<br>Аризона | Частей<br>на<br>млн. | Река Гила,<br>Аризона                   | Частей<br>на<br>млн. | Река Севьер,<br>Юта  | Частей<br>на<br>млн. |
|--------------------------|----------------------|---|----------------------|----------------------|----------------------|
| 1 авг. — 1 сент. 1899 .  | 724                  | 28 нояб. 1899—18 янв.<br>1900 . . . . . | 1 168                | 29 июля . . . . .    | 658                  |
| 2—9 сент. 1899 . . . .   | 1 100                | 1 фев. — 7 марта 1900                   | 1 136                | 12 августа . . . . . | 1 104                |
| 10 сент. — 9 окт. 1899   | 1 442                | 15—28 авг. 1900 . . . .                 | 925                  | 21 » . . . . .       | 1 268                |
| 10—17 окт. 1899 . . . .  | 952                  | 1—14 авг. 1900 . . . . .                | 541                  | 18 сент. . . . .     | 1 190                |
| 18 окт.—30 дек. 1899     | 1 026                | 29 сент. — 5 ноября<br>1900 . . . . .   | 1 085                | 5 октября . . . . .  | 1 426                |
| 17 Фев.—30 мая 1900 .    | 1 069                |   |                      | 19 » . . . . .       | 1 406                |
| 1 июня — 4 авг. 1900     | 1 391                |   |                      | 9 ноября . . . . .   | 1 376                |

## ГЛАВА XII

### ТРАНСПИРАЦИЯ И ИСПАРЕНИЕ

Вода необходима для всех жизненных процессов как у животных, так и у растений. Продуктивное использование воды сельскохозяйственными растениями при их выращивании является очень важным. Для фермера в условиях влажного климата источником воды для культурных растений служат запасы влаги в почве и осадки за вегетационный период. Нередко урожай резко снижается вследствие недостатка воды в критические периоды. Еще большее значение имеет продуктивное использование воды в засушливых районах, где при сухом земледелии вода в лучшем случае доступна в относительно малых количествах, а при орошении продуктивное ее потребление имеет первостепенное значение для наиболее полного использования доступных пахотных земель.

**164. Определение транспирации.** Во время роста растения имеется постоянное передвижение воды из почвы в корни, вверх по стеблю и из листьев растения в атмосферу. Этот важный процесс известен под названием транспирации растения. Передвигающийся таким образом поток воды служит для переноса необходимых для растения питательных веществ из почвы в различные части его организма. Скорость передвижения воды в растении варьирует обычно от 30 до 180 см в час; но в условиях высокой температуры, сухого воздуха и ветра эта скорость может значительно повышаться. Транспирация играет существенную роль в жизни растения. Очень незначительная доля воды, поглощенной корнями, удерживается в растении, но скорость передвижения ее в растении и количество, испаряемое с поверхности листьев, имеют большое значение. Если количество воды, проходящее через растение и испаряющееся листьями, больше того количества, которое поглощается корнями, то наступает завядание, и нормальный рост растения задерживается. С другой стороны, если условия таковы, что они стимулируют чрезмерную транспирацию, не подводя одновременно соответствующего количества питательных веществ растению, а также не благоприятствуя быстрому изготовлению органического вещества листьями, доступная вода не будет использована продуктивно. То, что рост растения не обязательно пропорционален транспирации, является фактом первостепенного значения для земледелия засушливых районов.

**165. Транспирационные коэффициенты.** Отношение веса воды, которое поглощается растением, проходит через него и транспирируется им, к весу сухого вещества, накопленного растением, называется транспирационным коэффициентом. Вода, испаряющаяся из почвы, на которой растет растение, не включается в транспирационный коэффициент. Сухое вещество — это та часть растения, которая остается после удаления всей воды нагреванием. При определении сухого вещества обычно учитывают только те части растения, которые убираются с урожаем. Корни, столоны и ботва картофеля, листья сахарной свеклы, корни зерновых, как, например, пшеницы, овса, ячменя, ржи, и корни кормовых культур исключаются. Правда, имеются исключения из этого общего правила. В некоторых исследованиях учитывалось все растение целиком, включая корни, стебли, листья и семена. За исключением особо оговоренных случаев в настоящей главе при рассмотрении транспирационных коэффициентов мы будем подразумевать только те части растения, которые убираются с урожаем. К сожалению, в некоторых исследованиях по транспирационным коэффициентам не имеется указаний, какие части были использованы при учете сухого вещества. При изучении транспирационного коэффициента, например, зерновых, желательнее учитывать отношение лишь к зерну, так как солома имеет сравнительно малую ценность. Чтобы транспирационные коэффициенты были вполне сравнимы, существенно, чтобы основы вычисления были бы даны полностью. Транспирационные коэффициенты обычно определяются путем выращивания растений в больших лизиметрах или сосудах, наполненных почвой. В некоторых опытах сосуды взвешиваются через частые промежутки времени, чтобы определить количество транспирированной воды; в других — искусственно поддерживается уровень воды на определенной высоте, и количество транспирированной влаги учитывается косвенно путем измерения того количества ее, которое необходимо для поддержания уровня воды на постоянной высоте. Некоторые исследователи изобрели особые приспособления для предотвращения потерь воды с поверхности почвы; другие различными способами учитывали потерю воды из сосудов и определяли транспирированное количество путем вычета испарившейся воды из общей потери. Все исследователи, пользовавшиеся лизиметрами, предотвращали потери просачивания вглубь. Транспирационные коэффициенты колеблются от ниже 200 до более 1000 г воды на 1 г накопленного сухого вещества.

Несколько цифр из результатов определений транспирационных коэффициентов различными исследователями представлены в таблице 14 (стр. 192).

**166. Значение транспирационного коэффициента и условия, определяющие изменения его величины.** Транспирационный коэффициент подвергается влиянию многих изменчивых факторов, как, например, почвы, климата и количества воды в почве; поэтому, совершенно естественно, он является величиной непостоянной. Тем не менее транспирационный коэффициент — ценное мерило

## ТИПИЧНЫЕ ДАННЫЕ ОПРЕДЕЛЕНИЙ ТРАНСПИРАЦИОННЫХ КОЭФИЦИЕНТОВ

|                                  | Исследователи и местности         |                 |                                   |               |
|----------------------------------|-----------------------------------|-----------------|-----------------------------------|---------------|
|                                  | Бриге<br>и Шанц,<br>Коло-<br>радо | Левер,<br>Индия | Том и<br>Гольц,<br>Вашинг-<br>тон | Уидсо,<br>Юта |
| <i>Кормовые:</i>                 |                                   |                 |                                   |               |
| Люцерна . . . . .                | 1 068                             | —               | 446                               | —             |
| Клевер . . . . .                 | 709                               | —               | 484                               | —             |
| Раис . . . . .                   | 441                               | —               | —                                 | —             |
| <i>Зерновые:</i>                 |                                   |                 |                                   |               |
| Ячмень . . . . .                 | 539                               | 468             | 320                               | —             |
| Кукуруза . . . . .               | 369                               | 337             | 249                               | 386           |
| Овес . . . . .                   | 614                               | 469             | 352                               | —             |
| Рожь . . . . .                   | 824                               | —               | —                                 | —             |
| Пшеница . . . . .                | 507                               | 554             | 432                               | 546           |
| <i>Корнеплоды и клубнеплоды:</i> |                                   |                 |                                   |               |
| Картофель . . . . .              | 448                               | —               | 167                               | —             |
| Сахарная свекла . . . . .        | 377                               | —               | 262                               | 497           |
| Лук . . . . .                    | —                                 | —               | 235                               | —             |
| <i>Разные:</i>                   |                                   |                 |                                   |               |
| Горох . . . . .                  | 800                               | 563             | 420                               | 843           |
| Сорго . . . . .                  | —                                 | —               | 240                               | —             |

относительной продуктивности, с которой растения используют воду при различных условиях выращивания. В связи с изменением почвенных условий, малого объема почвы в сосудах и в лизимерах, более точным регулированием условий увлажнения и факторов, окружающих растения: воздуха, солнечного освещения и тепла, — можно сомневаться, что транспирационные коэффициенты, полученные в сосудах и в лизимерах, точно соответствуют таковым тех же растений в полевых условиях. Тем не менее транспирационный коэффициент, измеренный в искусственных условиях, является ценным основанием для приблизительной оценки потребности в воде культурных растений, поскольку эта потребность зависит от активности растения. Однако еще более ценны общие правила и законы, касающиеся относительной продуктивности использования воды растениями, которые в настоящее время повидимому достаточно установлены исследованиями, проведенными по изучению транспирационных коэффициентов.

Эти законы приводятся дальше вместе с изложением некоторых наиболее обширных, относящихся к ним исследований по транспирации. Сперва, однако, чтобы с большей ясностью показать, каким образом результаты транспирационных коэффициентов указывают на продуктивность растения в использовании воды, дается определение термина «продуктивность транспирации» и рассматривается ее отношение к транспирационному коэффициенту.

**167. Продуктивность транспирации.** При использовании электрической энергии для движения мотора или при использовании мотора для движения насоса или других механических установок, как указывалось в гл. IV, вполне возможно и практически выражать продуктивность по отношению к определенному стандарту произведенной работы. Например, если электрический мотор в 10 электрических лошадиных сил передает трансмиссии 9 механических сил, то такой мотор передает  $\frac{9}{10}$  потребляемой им силы и, следовательно, обладает коэффициентом полезного действия или продуктивностью в 90%. Вышеприведенный пример типичен для механической и физической продуктивности, которая обозначается как отношение силы переданной к силе потребленной. Ясно, что при определении продуктивности транспирации растущего растения необходимо иное основание для вычисления соответствующего отношения. Растением потребляются солнечная энергия, кислород и углекислота из воздуха, минеральное питание и вода из почвы. Для земледельцев засушливых районов особенный интерес представляет достижение таких условий солнечного сияния, воздуха и почвы, которые дали бы максимальную продукцию сухого вещества на единицу транспирированной воды. Продуктивность транспирации, которая является скорее биологическим, чем физическим понятием, определяется здесь как отношение продуцированного растением сухого вещества (продукт) к транспирированной воде (потребление). Продуктивность транспирации в процентах математически выражается следующей формулой:

$$E_t = 100 y_d / T, \quad (51)$$

где  $E_t$  — продуктивность транспирации в процентах,  
 $y_d$  — вес сухого вещества урожая,  
 $T$  — вес транспирированной воды.

Транспирационный коэффициент является величиной, обратной продуктивности транспирации. Когда транспирационный коэффициент равняется 100, продуктивность транспирации равняется 1%; когда транспирационный коэффициент равен 1000, продуктивность транспирации равняется 0,1%. Продуктивность транспирации, как правило, лежит в пределах от 0,25 до 0,1%. Она может быть и ниже, но редко или даже никогда не бывает выше в засушливых районах. Цифровое отношение между транспирационными коэффициентами и продуктивностью транспирации в широких пределах различий представлено в 1-м и 2-м столбцах таблицы 15.

ТАБЛИЦА 15

СООТНОШЕНИЕ ТРАНСПИРАЦИОННЫХ КОЭФФИЦИЕНТОВ, ПРОДУКТИВНОСТИ ТРАНСПИРАЦИИ, СУХОГО ВЕЩЕСТВА, НАКОПЛЕННОГО НА ЕДИНИЦУ ОБЪЕМА ВОДЫ, И ЕДИНИЦ ОБЪЕМА ВОДЫ, ТРАНСПИРИРОВАННЫХ НА ТОННУ СУХОГО РАСТИТЕЛЬНОГО ВЕЩЕСТВА

| Транспирационный коэффициент | Продуктивность транспирации в процентах | Сухое вещество, накопленное на единицу объема транспирированной воды (в тоннах на акро-дьюм) | Вода, транспирированная при накоплении сухого вещества в акро-дьюмах на тонну |
|------------------------------|---|--|---|
| 100                          | 1,00                                    | 1,135  | 0,885   |
| 200                          | 0,50                                    | 0,568  | 1,76  |
| 300                          | 0,33                                    | 0,380  | 2,63  |
| 400                          | 0,25                                    | 0,284  | 3,52  |
| 500                          | 0,20                                    | 0,227  | 4,41  |
| 600                          | 0,17                                    | 0,189  | 5,29  |
| 700                          | 0,14                                    | 0,162  | 6,18  |
| 800                          | 0,12                                    | 0,142  | 7,05  |
| 900                          | 0,11                                    | 0,126  | 7,94  |
| 1 000                        | 0,10                                    | 0,113  | 8,85  |
| 1 100                        | 0,090                                   | 0,103  | 9,70  |
| 1 200                        | 0,083                                   | 0,094  | 10,62   |
| 1 300                        | 0,077                                   | 0,087  | 11,50   |
| 1 400                        | 0,071                                   | 0,081  | 12,35   |
| 1 500                        | 0,067                                   | 0,076  | 13,15   |
| 1 600                        | 0,062                                   | 0,071  | 14,10   |
| 1 700                        | 0,059                                   | 0,067  | 14,90   |
| 1 800                        | 0,055                                   | 0,063  | 15,86   |
| 1 900                        | 0,052                                   | 0,060  | 16,70   |
| 2 000                        | 0,050                                   | 0,057  | 17,55   |

В 3-м столбце дано количество тонн сухого вещества, накопленного на акро-дьюм транспирированной воды, соответствующее различным продуктивностям транспирации; в 4-м — вода в акро-дьюмах, транспирированная на тонну сухого вещества<sup>1</sup>.

**168. Факторы, влияющие на продуктивность транспирации.** Две группы факторов, как известно, влияют на продуктивность транспирации, а именно: 1) климатические, включая температуру, атмосферную влажность, силу ветра и частоту и количество осадков; и 2) доступное питание и содержание воды в почве вместе с природой и мощностью растения.

Первая группа факторов в значительной степени вне контроля человека. Растения должны выращиваться независимо от климатических условий там, где почвы плодородны и где вода доступна, и несмотря на то, что продуктивность транспирации, как уже теперь хорошо известно, относительно низка в засушливых районах. Детали, касающиеся влияния на  $E_t$  климатических и других не поддающихся регулированию человеком условий,

<sup>1</sup> Здесь читателю быть может трудно уяснить себе, для чего дано новое понятие продуктивности транспирации. Обсуждение в гл. XIV продуктивности расходования воды и в гл. XVII продуктивности ирригации, проведения воды и ее распределения и, наконец, рассмотрение значения и величин этих разных продуктивностей во взаимной связи разъяснит, для чего введено такое понятие.

читатель может найти в работах Бриггса и Шанца (Briggs and Shantz) и Том и Гольца (Thom and Holtz). Результаты опытов по влиянию наиболее важных, подающихся воздействию человека условий приведены дальше.

**169. Доступные питательные вещества.** Обилие легко доступных питательных веществ увеличивает продуктивность транспирации. Уидсо (Widsøe) нашел, что применение малых доз минеральных удобрений на почвах умеренного плодородия увеличивало продуктивность транспирации с 0,157 до 0,422%. На мало плодородном песке продуктивность транспирации возрастала при внесении удобрений с 0,100 до 0,218, на мало плодородной глинистой почве — с 0,076 до 0,225. Продуктивность транспирации не изменялась при внесении удобрений на высоко продуктивных почвах штата Юта. Работая в Индии, Левер (Leaver) нашел, на основании многих испытаний, что продуктивность транспирации равнялась в среднем на неудобренных почвах 0,128, а на удобренных — 0,175. Буйюкос (Bouyoucos), работая в Миннесоте, и Том и Гольц (Thom and Holtz) в штате Вашингтон подтвердили общий результат, что легко доступные питательные вещества увеличивают продуктивность транспирации. Киссельбах (Kiesselbach) в Небраске нашел, что применение овечьего помета значительно более заметно увеличивало продуктивность транспирации на неплодородных почвах, чем на плодородных.

Важно в этом отношении отметить, что увеличение продуктивности транспирации не указывает обязательно на уменьшение общего количества воды, потребляемого культурой. Напротив, повидимому, следует обратное. Плодородные почвы обуславливают более быстрое и пышное развитие культурных растений, чем неплодородные, и таким образом требуют большего количества воды на га, хотя бы продуктивность транспирации на них была относительно высока.

**170. Содержание воды в почве.** В 1913 г. Бриггс и Шанц дали литературный обзор большого количества опытов по транспирации, чтобы выяснить влияние содержания воды в почве на транспирационный коэффициент. В общем результаты обнаружили увеличение транспирационного коэффициента или уменьшение продуктивности транспирации по мере приближения содержания воды в почве к той или иной крайности. Однако эти исследователи отметили некоторые косвенные факторы, которые могли оказать влияние на результаты, и пришли к заключению, что прямое влияние содержания воды в почве на продуктивность транспирации не может быть установлено без дальнейших исследований.

Киссельбах (Kiesselbach) в результате работ в Небраске с 1912 г. по 1914 г. нашел, что снижение влажности почвы за пределом оптимума слегка увеличивало продуктивность транспирации; тогда как увеличение влажности почвы выше оптимума уменьшало ее. Однако в обоих случаях крайние условия влажности почвы сопровождались существенным снижением в урожае солом.

Том и Гольц (Thom and Holtz) в 1917 г. пришли к заклю-

чению, что «процент капиллярного насыщения почвы, в которой выращиваются растения, не является важным фактором для потребности в воде или продуктивности транспирации при условии, что процент влаги поддерживается значительно выше коэффициента завядания».

Эти исследователи далее заключают, что «любые условия, которые нарушают нормальные жизненные процессы, будь то почвенные, атмосферные или патологические, увеличивают транспирационный коэффициент как раз до такой же степени, до какой они угнетают нормальное функционирование растения».

Уидсо (Widtsøe) заключил, что в пределах допустимой для ирригации транспирационный коэффициент возрастает (а продуктивность транспирации уменьшается) по мере увеличения количества заданной воды.

Современное положение в исследовании вопроса о влиянии влажности почвы на продуктивность транспирации как будто вполне оправдывает заключение, что не следует чрезмерно растягивать периоды пребывания растений как при одной, так и при другой крайности влажности почвы. По самому существу своему процесс орошения обуславливает такое состояние почвы, при котором она относительно сильно увлажнена сейчас же после полива и становится относительно сухой перед последующим поливом. Некоторые колебания в содержании влаги неизбежны, но продолжительные периоды пребывания при обеих крайностях влажности почвы обычно могут быть устранены.

**171. Природа растения.** В продуктивности транспирации разных растений существуют как будто хорошо установленные различия. Однако, как указывают Бриггс и Шанц, в некоторых случаях эти различия неизбежно обуславливаются неодинаковыми 1) методами постановки опытов, 2) количеством доступных питательных веществ, 3) временем выращивания культурных растений и другими экспериментальными трудностями. При сухом земледелии, особенно там, где количество годовых осадков очень низко, желательно тщательно подбирать растения на основе продуктивности транспирации; но при орошении, где имеется столько дополнительных условий, влияющих на продуктивность использования поливной воды, как показано в гл. XVII, подбор растений на основе продуктивности транспирации мало надежен.

**172. Мощьность растения.** Доходность при выращивании сельскохозяйственных растений и животных наиболее обеспечена при мощном развитии культурных растений и высоких урожаях, а также при быстром росте животных и ранней их зрелости. Уидсо ярко выразил значение быстрого роста растений при орошаемом хозяйстве в следующих словах:

«Всякий раз, когда условия, как, например, время года, свойство почвы, доступные питательные вещества, агротехнические приемы, благоприятствуют быстрому мощному росту растения, они одновременно уменьшают количество воды, необходимое для накопления 1 кг сухого вещества. То-есть, поскольку дело касается этих факторов, чем лучше развивается растение, тем меньше становится транспирационный коэффициент».

Чем лучше себя чувствует растение, тем продуктивнее оно может использовать доступную воду.

**173. Испарение.** Когда полив дается методом затопления и вся поверхность почвы смачивается, значительные количества воды теряются непосредственно путем испарения из почвы в первые дни после полива. Термином непосредственное испарение обозначается та вода, которая испаряется из почвы, не проходя через корни, стебли и листья растения. Некоторые авторитеты говорят о транспирации, как об испарении из листьев растений. Это толкование транспирации в общем правильно, однако, не все испарение с поверхности листьев является результатом транспирации. После легкого дождя во время сезона вегетации вода, потерянная путем непосредственного испарения с поверхности листьев и почвы, мало или вовсе не служит на пользу растению. Также и вода, потерянная непосредственным испарением с поверхности почвы после полива, является бесполезной. Поэтому необходимо по возможности сокращать его практическими мероприятиями.

**174. Сокращение испарения.** Много опытов было поставлено как во влажных, так и в засушливых районах по испытанию влияния рыхления почвы на непосредственное испарение воды, причем и в настоящее время по этому вопросу имеются различия во мнениях исследователей.

Некоторые из выдающихся американских пионеров-исследователей орошения, а именно Кинг (King) из Висконсина, Фортье (Fortier) из департамента земледелия США, нашли, что почвенная мульча, образованная путем рыхления (культивации), может значительно снизить испарение. Прежнее представление о том, что подьем капиллярной воды снизу вверх очень значителен и что слой взрыхленной сухой почвы задерживает этот подьем, было общепринято и широко преподавалось.

В 1917 г. Колль и Сьюэлль (Call and Sewell) отметили факт, что многие опыты, указывающие на сокращение потерь воды при рыхлении, проводились в полевых условиях на почвах с высоким уровнем грунтовой воды или в почвенных столбах в лаборатории, где почва была или первоначально насыщена или поддерживалась в контакте со свободной водой. Гаррис и Тэрпен (Harris and Turpin), Ольуэй и Мак-Доль (Alway and Mc Dole), Уиллард и Гумберт (Willard and Humbert) и Мак-Лаулин (Mc Laughlin) проводили опыты по передвижению влаги в условиях, совершенно независимых от свободной воды или от уровня грунтовой воды, и нашли относительно слабое передвижение ее вертикально кверху. Позднее Вимейер (Veihmeyer) проводил обширные и детальные исследования по влиянию рыхления на испарение из почв, изолированных от свободной воды. Результаты опытов по испарению из сосудов, обработанных четырьмя различными способами, приведены на рис. 104, из которого видно, что потери из сосудов невзрыхленных и взрыхленных на глубину в 15 см фактически одинаковы. Рыхление на глубину 20 см слегка, а на глубину в 25 см — несколько сильнее снижает потери.

Основываясь на этих опытах и на других, им подобных, Вимейер (Veihmeier) пришел к заключению, что рыхление не влияло на испарение влаги с голой поверхности почвы в сосудах и на делянках в поле, бывших под наблюдением.

Шоу (Shaw), изучая влияние мульчи (взрыхленного слоя почвы) в лабораторных условиях, пришел к заключению, что «почвенная мульча может уменьшить потерю почвенной влаги только тогда, когда уровень грунтовой воды приподнят или постоянно находится в пределах, допускающих капиллярное поднятие к поверхности».

Исследования последнего времени, очень кратко приведенные выше, заставляют сильно сомневаться в том, что ~~на делянках~~, не

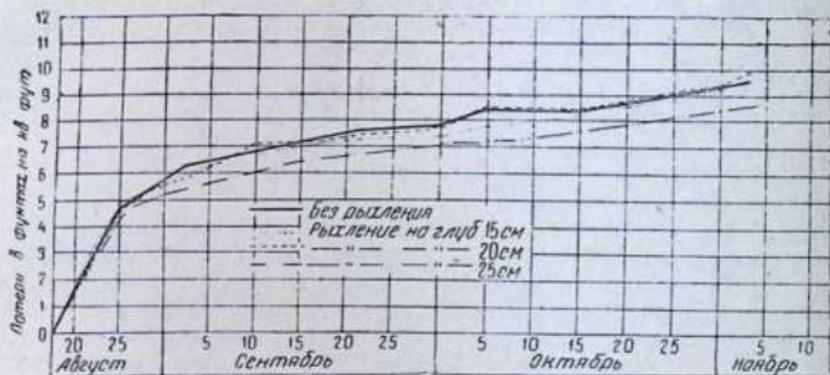


Рис. 104. Испарение воды непосредственно с поверхности почвы в сосудах в Маунтен Вью (из Hilgardia, vol. 2, № 6, 1927).

чрезмерно влажных и не находящихся в близком контакте с грунтовыми водами, взрыхленный слой почвы давал бы преимущества в отношении сохранения влаги в почве путем сокращения испарения.

Широкие общие заключения относительно влияния рыхления на непосредственное испарение с поверхности почвы могут ввести в заблуждение. Значительное количество участвующих здесь изменчивых факторов, а именно — различий в расстоянии от источников свободной воды, в исходной влажности ненасыщенной почвы, в ее механическом составе, структуре, удельной водопродности, являются причиной большого риска в обобщениях.

Насколько автору известно, ни в одном из опытов, касающихся влияния рыхления и мульчирования на вертикальный подъем воды в почве, не производилось измерений потенциальных градиентов или удельной водопродности почв.

В случае, когда почвы значительно удалены от грунтовых вод или других подобных источников водоснабжения, передвижение из влажных глубоких слоев кверху в сухие поверхностные слои постепенно уменьшает величину потенциального градиента, снижая, таким образом, скорость передвижения.

Далее, по всей вероятности, и удельная водопродовность тоже падает по мере высыхания почвы. Возможно, что будущие исследователи, работающие в этой области, будут измерять потенциалы в различных точках и смогут, таким образом, оценить удельную водопродовность в различных условиях.

**175. Мульча из растительной массы.** Там, где вода в недостатке, непосредственное испарение иногда сокращают до минимума, покрывая почву толстым слоем соломы или другим подобным малоценным материалом. Этот способ уменьшения испарения применяется с успехом в садах, поливаемых методом лунок. Вообще же применение этого способа ограничено вследствие недостатка материала для изготовления растительной мульчи, а также и ее дороговизны. Следует все же сказать, что мульча из растительной массы весьма эффективно снижает испарение. При этом она одновременно снабжает почву органическим веществом.

**176. Испарительно-транспирационный коэффициент.** Если бы было возможно орошать культурные растения, предотвращая испарение воды с поверхности почвы, потребовалось бы меньшее количество поливных вод. Однако обычно при орошении некоторые потери через испарение совершенно неизбежны, и следовательно, мерилом продуктивности использования воды после ее запасаения в почве является отношение суммарного веса воды, транспирированной растением и непосредственно испарившейся из почвы, к весу накопленного растением сухого вещества. Это отношение было названо Уидсо испарительно-транспирационным коэффициентом<sup>1</sup>. Очевидно, что с уменьшением непосредственного испарения величина испарительно-транспирационного коэффициента приближается к транспирационному коэффициенту. Уидсо нашел, что этот коэффициент в нормальных условиях колеблется от 250 до 1000. Новое выражение, которое недавно нашло широкое применение в районах орошения, а именно — расход воды на потребление (consumptive use of water), хотя и не идентично по значению с испарительно-транспирационным коэффициентом, но все же имеет близкое отношение к нему. Расход воды на потребление при орошении мы будем рассматривать в гл. XIV.

<sup>1</sup> «Evapo-transpiration ratio». В русской литературе (Тулайков) он называется «полевым транспирационным коэффициентом». Прим ред.

При установлении сроков полива необходимо считаться со следующими двумя основными моментами: а) с потребностью культурных растений в воде и б) с доступностью воды для полива. При установлении сроков полива во время периода вегетации в ирригационных системах, получающих воду из запасныхохранилищ или из других водных источников, не подверженных значительным колебаниям, на первое место выдвигается потребность в воде культурных растений. Многие орошаемые хозяйства, однако, получают воду из рек, уровень которых сильно колеблется в течение сезона. Некоторые орошаемые площади терпят недостаток водоснабжения в течение поливного сезона и, напротив, имеют избыток воды поздней осенью, зимой или ранней весной. Поэтому не всегда имеется возможность давать полив в то время, когда растения более всего в нем нуждаются; иногда, для сохранения воды, ее приходится давать, хотя растения и не нуждаются в ней. Поэтому при обсуждении сроков поливов необходимо считаться не только с потребностями растений, но и с доступностью поливной воды.

**177. Потребность растений в воде.** Развивающиеся растения постоянно потребляют воду. Скорость потребления воды варьирует в зависимости от вида растений, фаз развития, температуры, атмосферных условий — факторов, которые, как известно, все являются изменчивыми. Совершенно очевидно, что невозможно возмещать поливом воду изо дня в день с той скоростью, с которой ее потребляют культурные растения. Поэтому существенно в орошаемом хозяйстве использовать почву как запасное хранилище для воды. При каждом поливе в почве запасается в форме капиллярной влаги количество воды, достаточное для обеспечения нужд культурных растений на период от нескольких дней и до нескольких недель.

Как уже объяснялось в гл. IX, мелкоземистые почвы обладают значительно большей влагоемкостью, чем почвы грубого механического состава. Мощность почвы также сильно влияет на ее способность запасать воду. Поэтому ясно, что для обеспечения обильного водоснабжения культурных растений в течение всего периода вегетации почвы грубого механического состава и маломощные должны поливаться чаще, чем мелкоземистые и мощные.

Как часто нужно давать полив на различных почвах для наилучшего обеспечения потребностей в воде культурных растений, является вопросом чрезвычайно интересным и имеющим большое практическое значение. Фактором первостепенного значения при установлении частоты и сроков полива является потребность культурных растений в воде.

178. Условия, ограничивающие увлажнение почвы. Рост большинства культурных растений при орошаемом земледелии стимулируется умеренным количеством влаги в почве и, напротив, задерживается избыточным или недостаточным ее количеством. Известное количество воздуха в почве существенно важно для удовлетворительного роста растений; отсюда избыточное насыщение водой и заполнение всех пор в почве водой, вытесняя воздух, задерживает нормальную жизнедеятельность растений, хотя и снабжает их в изобилии доступной водой. С другой стороны, недостаточно увлажненные почвы настолько сильно удерживают в себе влагу, что растение для добывания ее должно затратить чрезмерно много энергии; дальнейшее незначительное снижение водоснабжения настолько уменьшает содержание воды в почве, что скорость поглощения не поспевает за транспирацией, растение теряет тургор, и наступает длительное завядание. Содержание воды в почве при таком ее увлажнении принято называть коэффициентом завядания. Предполагалось, что при известной влажности почвы, промежуточной между этими двумя крайними состояниями, растение растет лучше всего; это содержание воды обозначается оптимальным процентом увлажнения.

Углубленное изучение этих двух предельных влажностей почвы, т. е. процента содержания воды при длительном завядании, так называемом коэффициенте завядания, и при оптимальном увлажнении, послужило предметом обширной исследовательской работы последних лет. Вследствие значительных различий в физических свойствах разных почв легко понять, что процент влаги при коэффициенте завядания в глинистой почве может быть в несколько раз выше, чем в песчаной почве. Еще не совсем выяснен следующий вопрос: завядают ли в данной почве все растения при одном и том же проценте содержания воды. Другими словами, существует ли критический процент влажности (или узкая зона содержания воды в почве), при котором картофель, свекла, люцерна, зерновые и другие основные культуры завядают, независимо от солнечного освещения, ветра, влажности воздуха и т. д. Обширные исследования Бриггса и Шанца (Briggs and Shantz) привели к выводу, что почти все растения завядают в данной почве при одинаковом по существу проценте содержания воды в ней. Позже Поуэрс (Powers) наблюдал в штате Орегон колебания в коэффициенте завядания в одной и той же почве от 16% для клевера до 17,5% для картофеля и 20,3% для сахарной свеклы. Поуэрс пришел к заключению, что коэффициент завядания у разных растений сильнее колеблется, чем до сих пор предполагали, особенно в мелкоземистых почвах. Несмотря на эти некоторые ограничения выводов Бриггса и Шанца, для наших целей будет вполне достаточно принять, что

коэффициент завядания для всех растений на данной почве будет по существу одним и тем же.

Не меньший интерес и значение представляет так называемый процент оптимального увлажнения. Увеличивается ли заметно до достижения оптимума скорость роста растения по мере увеличения влажности почвы выше коэффициента завядания и затем опять уменьшается до достижения полевой капиллярной влагоемкости или же рост остается по существу одинаковым в широких пределах влажности почвы, от процента несколько выше коэффициента завядания и до полевой капиллярной влагоемкости?

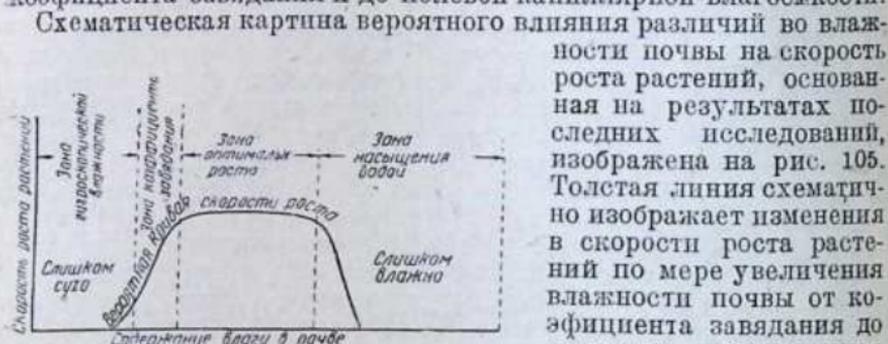


Рис. 105. Кривая скорости роста растений под влиянием различной влажности почвы.

определенном проценте содержания влаги. Последние исследования на опытной станции в Калифорнии показывают, что максимальный рост происходит в пределах некоторой зоны влажности почвы. Гендриксон и Вимейер (Hendrickson and Veihmeier) нашли, что скорость роста персиковых деревьев не уменьшалась при изменениях влажности почвы, пока последняя не снижалась за пределы коэффициента завядания. Дальнейшие подтверждения выводов Гендриксона и Вимейера приведены в § 182 в связи с обсуждением коэффициента завядания растений.

**179. Показатели потребности в воде.** Потребность культурных растений в поливе обычно определяется по двум основным показателям, а именно — по внешнему виду растений и по количеству доступной воды в почве.

**180. Внешний вид растений.** Светлозеленая окраска люцерны обычно указывает на достаточное увлажнение и удовлетворительный рост, тогда как темнозеленая окраска обычно служит показателем недостаточного увлажнения. Из корнеплодов, в сахарной свекле на недостаток воды указывает временное увядание, особенно в течение наиболее жарких часов дня. Потребность в воде зерновых злаков также выражается временным увяданием. В культуре плодовых деревьев потребность в воде, как правило, не рекомендуется определять по внешнему виду листьев деревьев, так как значительная задержка в росте происходит еще до того,

как на листьях начинает ясно сказываться недостаток воды. Поэтому правильнее определять время поливов в плодовых садах, основываясь на данных влажности почвы. В сущности те же соображения в несколько меньшей степени относятся к любой культуре в качестве показателя потребности в поливе. Не следует задерживать роста растений ограниченным доступом воды, и в то же время следует помнить, что задержка полива до момента определенно выраженной потребности в воде растений, по всей вероятности, уже приводит к задержке в росте.

**181. Доступная вода в почве.** Хорошо известно, что только часть воды в почве доступна растениям. Для удовлетворительного роста растений, как общее правило, необходимо поддерживать в почве запас легко доступной воды. Вода, которая удерживается почвой ниже коэффициента завядания, недоступна растению. В почвах грубого механического состава количество недоступной воды очень низко, от 1 до 3% веса сухой почвы, тогда как в мелкоземистых это количество достигает иногда 20%. Бриггс и Шанц нашли, что различия в количестве недоступной для того или иного растения влаги в разных почвах настолько велики, что совершенно покрывают те незначительные различия, которые имеются у разных растений в способности поглощать воду. В связи с этим определение количества недоступной воды является основным моментом применения влажности в качестве показателя времени полива.

**182. Коэффициент завядания.** Количество воды, удерживаемое почвой после начала длительного завядания растений, как уже указывалось в § 178, известно под названием коэффициента завядания. Бриггс и Шанц нашли довольно постоянное соотношение между эквивалентом влажности разных почв и коэффициентом завядания. Более поздние исследования Вимейера и Гендриксона обнаружили довольно значительные отступления от установленной Бриггсом и Шанцом закономерности, что коэффициент завядания равняется эквиваленту влажности, деленному на 1,84. Для того чтобы правильно использовать данные о влажности почвы для определения времени полива, совершенно необходимо знать хотя бы приблизительно коэффициент завядания для данной почвы. Вычисление коэффициента завядания на основании определения эквивалента влажности носит весьма приближенный характер и может быть использовано лишь с осторожностью; лучше же, где возможно, коэффициент завядания определять непосредственно. Вимейер и Гендриксон нашли, что отношение эквивалента влажности к коэффициенту завядания колеблется в пределах от 1,73 до 3,82. Они пришли к заключению, что отношение 1,84, предложенное Бриггсом и Шанцом, не может быть применено для всех почв, так как, по видимому, растения способны в различной степени иссушать разные почвы, прежде чем будет достигнуто состояние длительного завядания. В полевых условиях более вероятно, что завядание наступает в пределах какой-то ограниченной зоны влажности, а не при одном определенном проценте содержания влаги в почве. Чрезвычайно важно в деле орошения знать, какая влажность является верх-

ним пределом зоны завядания на данной почве. Гендриксон и Вимейер утверждают, что растения добывают некоторое количество воды из почвы при влажности ниже коэффициента завядания, но что скорость, с которой они ее извлекают, недостаточна для поддержания тургора. Из этого следует, что вода ниже коэффициента завядания во всяком случае не является легко доступной.

**183. Скорость роста при влажности выше зоны завядания.** Исследования последнего времени над влиянием влажности почвы на растения как будто приводят к выводу, что скорость роста не снижается недостатком воды до тех пор, пока влажность почвы держится выше зоны завядания. Это заключение противоречит убеждению, что рост происходит с максимальной скоростью при так называемой оптимальной влажности и что с повышением или понижением содержания воды в почве он снижается.

На основании полевых исследований с персиками в долине Сан-Хоакин в Калифорнии, Гендриксон и Вимейер пришли к заключению, что «процент содержания воды при длительном завядании является критической влажностью почвы» и, далее, что «деревья либо имеют легко доступную влагу, либо не имеют ее вовсе».

Исследования Шэлла (Shull) над различиями в силе, с которой вода удерживается в почве при различном ее содержании, также подтверждают выводы, к которым пришли Гендриксон и Вимейер. Шэлл нашел, что при влажности почвы выше коэффициента завядания большие изменения в содержании влаги обуславливают лишь незначительные изменения в величине силы, с которой вода удерживается почвой. Напротив, при влажности почвы ниже коэффициента завядания самые незначительные сдвиги в содержании воды обуславливают резкие изменения в водоудерживающей силе почвы. Показания Шэлла подтвердились работами Томаса (Thomas) по упругости водяного пара в почве. В исследовании взаимоотношений растения и почвы при влажности почвы при коэффициенте завядания и ниже Магистэд и Бризиль (Magistad and Breazeall) подтвердили результаты работ Шэлла и Томаса. Рис. 106 показывает, насколько мало изменяется сосущая сила почвы по мере увеличения влажности почвы от коэффициента завядания примерно около 19% до эквивалента влажности — около 34%.

Поэтому нужно думать, что скорость роста растений, поскольку она может зависеть от влажности почвы, не будет изменяться с той же резкостью, с какой изменяется эквивалент влажности, представляющий примерно полевую капиллярную влагоемкость почвы.

До настоящего времени опытных данных по процентному содержанию воды в различных полевых почвах при коэффициенте завядания сравнительно мало. Некоторые данные по этому вопросу приводятся ниже.

**184. Потребности в воде различных почв.** Работая на супесчаных почвах на сельскохозяйственной станции в Новой Мексике, Тинслей (Tinsley) нашел, что, согласно данным Томсона

и Барроуса (Thompson and Barrows), растения не страдают, когда содержание воды в верхних 180 см почвы в среднем падает до 7%. Наблюдения над изменением влажности почвы на 2 делянках в течение 10-дневного периода после ирригации на глубинах от 0 до 30 см (0—1 фут), от 60 до 90 см (2—3 фута) и от 120 до 150 см (4—5 футов), проведенные указанными авторами, представлены на рис. 107 и 108. Обе делянки были заняты люцерной, причем делянка 24 (рис. 107) не была взрыхлена, тогда как делянка 30 (рис. 108) была взрыхлена. Обе делянки получили полив в 7,5 см (3"); средняя глубина за сезон в течение 1916—1918 гг. (на которой были произведены определения влажности) равнялась 118 см (47") на делянке 24 и 105 см (42") на делянке 30. Из обоих рисунков видно, что максимальные изменения в содержании воды происходили в поверхностных 30 см (1 футе), и на обеих делянках на глубине от 60 до 90 см (2—3 футов) и от 120 до 150 см (4—5 футов) влажность почвы

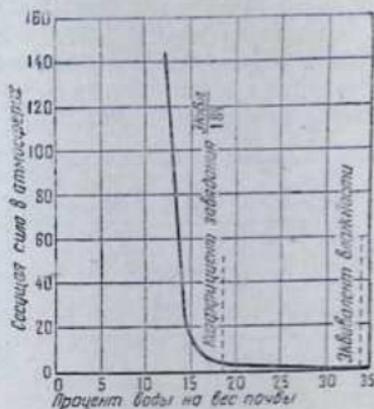


Рис. 106. Сосущая сила пловатого суглинка при различном увлажнении (из Ariz. Agr. Exp. Sta. Techn. Bull. 25).

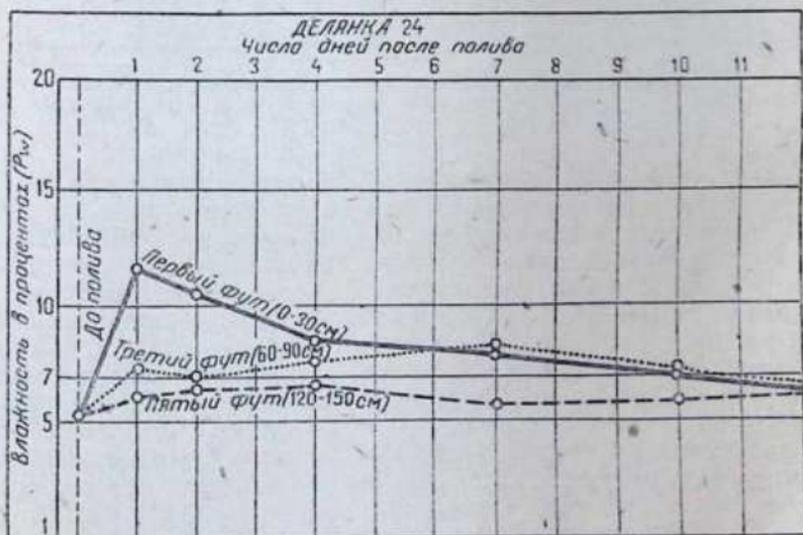


Рис. 107. Увеличение влажности почвы при поливе на делянке с люцерной и последующее ее уменьшение в течение первых 10 дней после полива (New Mex. Agr. Exp. Sta. Bull. 123).

продолжала повышаться в течение нескольких дней после полива. Интересно отметить, что на взрыхленной делянке на глубине 0—30 и 60 до 90 см влажность почвы в течение всего периода наблюдений держалась значительно выше минимума в 7%.

Поуэрс (Powers) нашел, что картофель лучше всего поливать, когда влажность почвы — довольно тяжелый серый илистый суглинок западного Орегона — падает ниже 20%. Уидсо (Widsoe) пришел к заключению, что влажность почвы от 12 до 13% указывает на желательность полива глубоких суглинков стан-

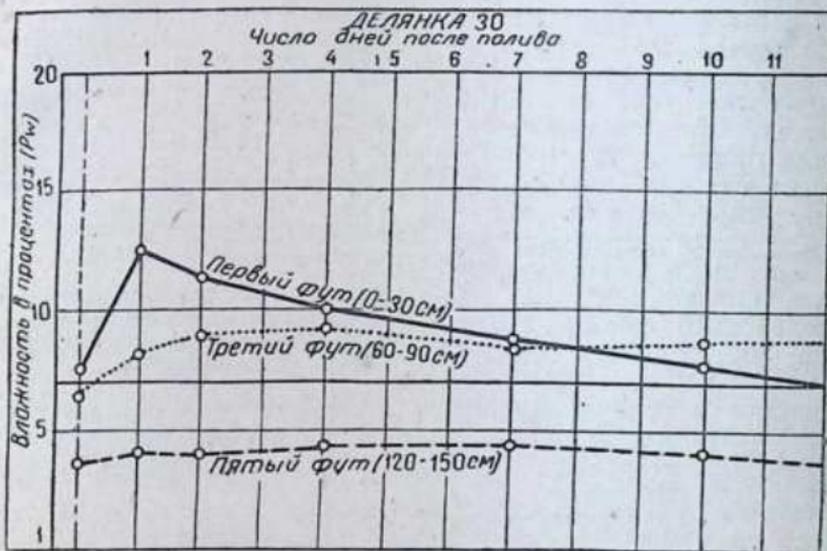


Рис. 108. Увеличение влажности почвы при поливе на делянке с люцерной и последующее ее уменьшение в течение первых 10 дней после полива (New Mex. Agr. Exp. Sta. Bull. 123).

ции Юты, хотя он не обнаружил вреда от завядания при падении влажности почвы в слое в 240 см в среднем до 10%. Для почв Новой Мексики и Орегона не приведено процента эквивалента влажности. Эквивалент влажности для почв Юты, на которых работал Уидсо, равняется примерно 22%; коэффициент завядания на почвах Юты, вычисленный на основании этих данных, равняется 12%. Адамс (Adams) и другие в 1914 г. нашли, что люцерна, выращенная в благоприятных условиях на поле Вигно около Лос-Молинос в долине Сакраменто в Калифорнии, дала около 7 т. укоса с акра, несмотря на то, что влажность поверхностных 30 см почвы падала перед каждым поливом до коэффициента завядания, вычисленного на основании определения эквивалента влажности. Влажность почвы последующих 30 см (1 фут) слоев, определенная 10 раз в течение вегетационного периода, представлена на рис. 109.

Недавние совместные исследования отдела помологии и отдела исследований и практики орошения Калифорнийского универ-

ситета, изложенные Гендриксеном и Вимейером, указывают, что, хотя имеется и поразительное постоянство в количестве влаги, остающейся в данной почве при достижении коэффициента завядания, тем не менее, нельзя применять какое-нибудь общее основание для вычисления этого остатка.

Колебания во влажности почвы в течение сезона вегетации на различных опытных деланках при разных схемах орошения представлены на рис. 110.

Средние количества воды, полученные по этим схемам, сле-

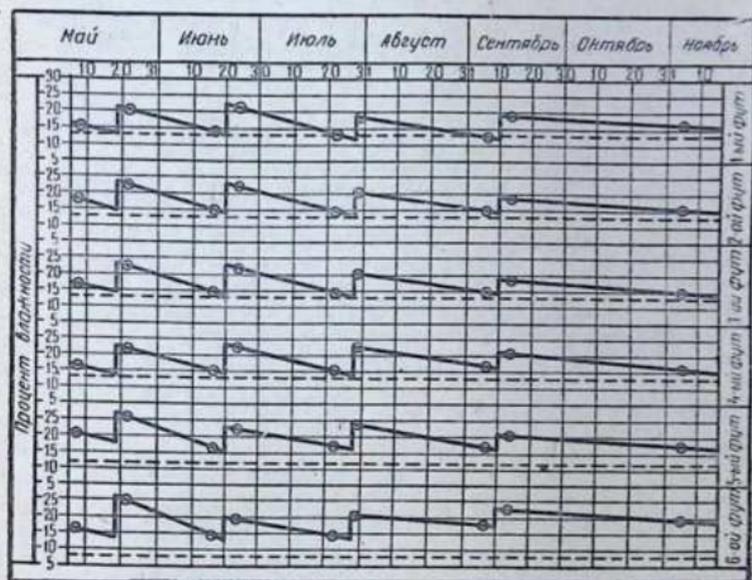


Рис. 109. Сезонные колебания влажности почв на разных глубинах в процентах. Поле люцерны в Вигно, Лос-Модинос, 1914 г. (Calif. State Dept. of Engineering, Bull. 3).

Сплошная ступенчатая линия — влажность почвы, пунктирная линия — коэффициент завядания, вертикальные скачки представляют увеличение влажности благодаря поливу, кружки — влажность почвы в момент взятия пробы.

дующие: по схеме А и F получено наибольшее количество воды, в среднем по 6 325 куб. м (25,3 акро-дюйма) на акр в год в течение последних 5 лет; по схеме D получено следующее по порядку количество воды, в среднем по 4 950 куб. м (19,8 акро-дюйма) на акр в год; по схеме B получено еще меньше — по 3 350 куб. м (13,4 акро-дюйма); наконец, по схемам C, G и E получена примерно лишь половина того количества, которое было задано по схемам А и F, а именно по 2 775 куб. м (11,1 акро-дюйма) на акр ежегодно.

Почва на опытной ферме Дели, наблюдения над которой представлены на рис. 110, классифицируется как мелкий песок (Oakley fine sand). Представляется возможным отметить относи-

тельно низкую влажность почвы в верхних 90 см (от 0 до 3 футов) при коэффициенте завядания, представленном на рисунке жирной горизонтальной линией. Интересно также отметить относительно высокое среднее содержание воды, которое поддерживалось в течение всего вегетационного периода более высокой оросительной нормой. Указанное выше широкое разнообразие в процентном содержании воды в момент, когда необходимо дать

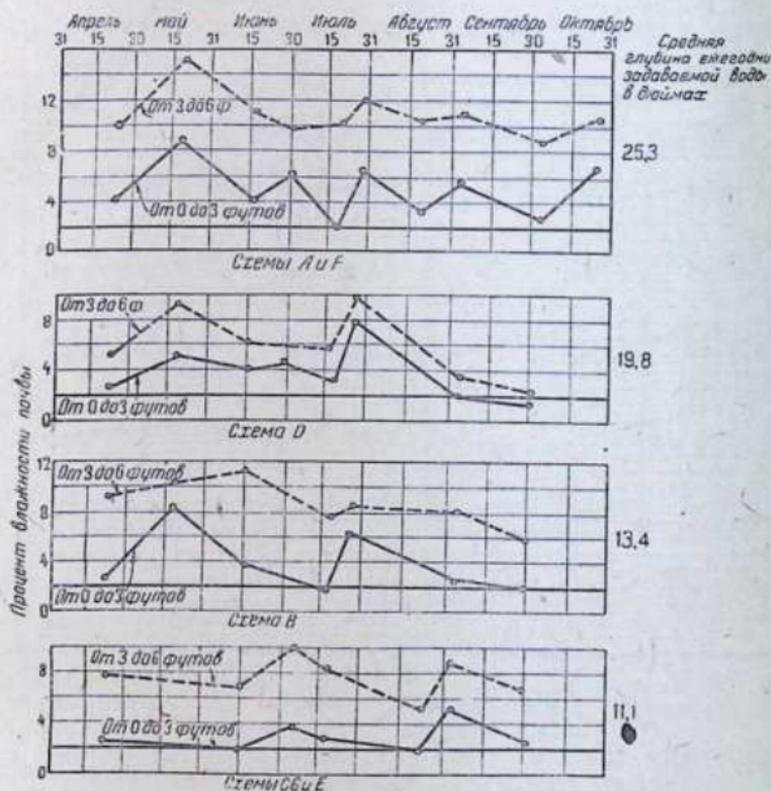


Рис. 110. Влажность почвы в плодовом саду в Дели при различных нормах орошения. Коэффициент завядания на глубине от 0 до 90 см представлен жирной горизонтальной линией (Calif Agr. Exp. Sta. Bull. 479).

полив для обеспечения легко доступной влагой, подчеркивает значение самих почв с точки зрения различий в их способности удерживать влагу. Для поддержания запаса легко доступной растению влаги совершенно очевидно, что, при использовании данных по содержанию воды в почве в качестве показателя времени полива, необходимо знать коэффициент завядания для каждой данной почвы.

**185. Фазы развития.** Возможность управлять в орошаемом хозяйстве влажностью почвы открывает широкие перспективы

в повышении урожайности. Например, задержка полива люцерны после первого укоса в горных штатах Северной Америки стимулирует урожай семян у отавы, лишь бы влажность почвы не снизилась настолько, чтобы задержать рост. Преимущества и недостатки полива различных культурных растений в определенные фазы развития кратко рассматриваются в гл. XVIII.

**186. Сезонное потребление воды различными культурными растениями.** В орошаемом хозяйстве целесообразно подбирать культуру некоторой степени на времени, когда вода естественных потоков наиболее доступна. Во многих долинах, не имеющих запасных водохранилищ, большие количества воды доступны весной. От начала вегетационного периода и до конца июня или начала июля реки питаются тающим снегом с гор, и снабжение водой в это время может быть значительно большим, чем в более поздний период — летом. В таких условиях можно хорошо выращивать люцерну, пшеницу и овес, так как все эти растения требуют значительных количеств воды в мае и в июне. Консервный горошек также может вызреть до начала сокращения водоснабжения. Люцерна продолжает расти в течение всей второй половины лета, если имеется доступная вода для орошения. Если воды нет, люцерна переходит в состояние покоя, не испытывая длительных повреждений, и возобновляет рост, как только получает воду, будь то поздней осенью или следующей ранней весной. Свекла, картофель и кукуруза потребляют мало воды в начале вегетационного периода, но требуют значительного количества в поздние летние месяцы, особенно в конце июля, в августе и в начале сентября. Успешное выращивание свеклы и картофеля может быть обеспечено в том случае, если имеется возможность обеспечить их влагой во вторую половину вегетационного периода. Время и скорость потребления воды важнейшими культурными растениями в долине Каш в штате Юта очень образно иллюстрированы в работе Гарриса (Harris), как видно на рис. 111.

**187. Доступные водные запасы для орошения.** Орошение во время сезона покоя растительности практикуется во многих местностях запада Америки в качестве мероприятия по запасанию воды для будущего потребления. Фермеры дают иногда большие поливные нормы также во время периода вегетации

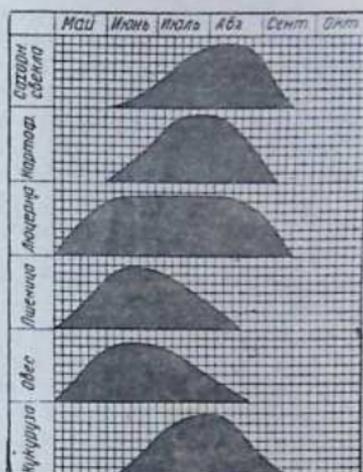


Рис. 111. Потребление воды в течение вегетационного периода различными культурными растениями в долине Каш в штате Юта (Utah Agr. Exp. Sta. Bull. 173).

сейчас же после сильных дождей, увеличивающих водные потоки в реках и ручьях, и временно обеспечивают таким образом значительные количества воды для поливов. Представляется желательным устраивать открытые водохранилища, как большие, так и малые, для запасаания воды за счет внезапных ливней или той воды, которая доступна осенью, зимой и весной и которую необходимо сохранить и использовать, или же она теряется. По всей вероятности, можно считать общим правилом, конечно, не без некоторых исключений, что полив, который дается не в то время, когда растения в нем действительно нуждаются, используется менее продуктивно, чем если бы он был дан в момент наибольшей потребности в нем. В местностях, где запасаание воды в открытых водохранилищах по тем или иным причинам неприемлемо, целесообразно использовать в качестве резервуара почву, применяя полив, когда он только возможен, в целях сохранения влаги для будущего потребления. Террасы и плоскогория, как правило, в случае, если предполагается запастись водой в форме капиллярной влаги, не следует поливать обильно, особенно когда под почвой залегают грубые пески или гравий. В некоторых случаях бывает полезно давать большие поливные нормы в течение периода покоя растительности, чтобы насытить подпочвенный гравий и таким образом обусловить подъем уровня грунтовой воды ближе к поверхности почвы. Но если нет приспособлений для выкачивания грунтовой воды на поверхность во время поливного сезона, то дача избыточного количества влаги во время сезона покоя может обусловить значительный вред заболачиванием почвы.

**188. Осенний полив.** Орошение после уборки урожая известно под названием осеннего полива. Потребность в осеннем поливе на землях, где выращиваются сахарная свекла, картофель, фасоль и горох, определяется в значительной степени осадками. В местностях, где нормально имеется достаточно осенних и зимних осадков, чтобы поднять влажность почвы после уборки урожая до полевой влагоемкости на глубину всей корнеобитаемой зоны, нет никакой необходимости в осеннем поливе, за исключением лет с пониженным количеством осадков. В западной части США местностей, занятых под указанные культуры, мало, и площадь, занимаемая ими, сравнительно невелика, но есть много районов, где осенью и зимой осадков недостаточно, чтобы промочить почву насквозь. В большинстве этих местностей речные потоки богаты водой в осенние месяцы, и, протекая мимо земель, они пропадают неиспользованными, если их не применить для полива. Осенний полив в таких условиях представляет хороший способ для сохранения воды и для обеспечения благоприятной обстановки для прорастания семян и раннего развития растений следующей весной.

Люцерна, выращенная на хорошо дренированных почвах, может быть с успехом полита осенью; также и для луговых кормовых трав и для пастбищ осенний полив желателен, если без орошения почва чрезмерно просыхает. При орошении осенью, зимой или ранней весной следует воздерживаться от дачи избыточного

количества воды. Как указывалось в гл. IX, имеются определенные пределы в способности почв удерживать влагу. В штатах Скалистых гор некоторые ирригаторы осенью допускают, чтобы вода протекала по их землям в течение многих дней, а иногда и неделю. Этот прием вредит как орошаемой земле, так и нижележащим участкам, на которые постепенно просачивается избыток поливной воды.

Методы распределения воды, рассмотренные в гл. V, помогут ирригатору в применении осеннего полива. Он может также использовать материалы, изложенные в гл. IX, и уравнение (32) для предупреждения избыточного полива.

**189. Зимний полив.** В более возвышенных и прохладных местностях орошаемых районов зимний полив имеет мало или даже вовсе не имеет практического значения. Промерзшие почвы поглощают влагу очень медленно или совсем не поглощают ее, поэтому трудно распределить воду равномерно по всему полю. Помимо того, некоторые растения в холодном климате зимним поливом повреждаются.

В условиях, однако, более теплого климата зимний полив в качестве средства для сохранения воды, которая в противном случае пропала бы без пользы, может быть полезен. У кормовых трав и пастбищной растительности потребление воды в зимние месяцы сравнительно небольшое. Орошение плодовых садов в течение периода покоя рассматривается в гл. XXI.

**190. Весенний или предпосевной полив.** Обширные площади земель в засушливых районах требуют полива в ранние весенние месяцы для обеспечения прорастания и раннего роста однолетних. Как правило, реки засушливых районов достаточно обеспечены водой, чтобы удовлетворить нужды ранне-весеннего полива. Даже в тех случаях, когда речные потоки захватываются водохранилищами на высоких горных возвышенностях, все же остается еще достаточно влаги от дождей и талых вод для того, чтобы и в более пониженных местах обеспечить предпосевной полив. Нужно думать, что значение предпосевного полива, как мероприятия по запасанию воды в почве, еще недостаточно оценено. Ирригаторы часто вводят в заблуждение тем, что весенние дожди смачивают почву на глубину от 20 до 40 см. Они считают почву «достаточно влажной», когда на самом деле под влажным поверхностным слоем имеется от 90 до 150 см сухой почвы. Своевременное применение почвенных буров, описанных в §§ 119 и 120, позволит установить потребность почвы в предпосевном поливе. Хотя и очень желательно для сохранения воды применять полив на недостаточно увлажненных почвах, не следует, однако, давать полив ранней весной на таких почвах, которые уже увлажнены до предельной полевой влагоемкости.

Предпосевной полив на вполне увлажненных почвах с близким уровнем грунтовых вод вместо пользы может принести лишь вред. В таких условиях лучше допустить потерю воды в естественных стоках, чем применять ее для полива.

РАСХОД ВОДЫ НА ПОТРЕБЛЕНИЕ ПРИ ОРОШЕНИИ<sup>1</sup>

Быстрый рост орошения в Америке в течение первой четверти настоящего столетия возбудил большой общественный интерес к вопросу об использовании ирригационной воды. Пионеры оросительного дела не имели возможности проверить, что делалось в конечном итоге с водой, заданной при поливе. То, что они теряли некоторую часть воды в форме поверхностного стока, было очевидно также не было для них сомнения в том, что часть воды потреблялась культурными растениями; но что значительные количества воды просачивались вглубь в сухую почву — это представлялось для них лишь простым умозрением, если они вообще могли предполагать этого рода потери. Однако постепенное поднятие грунтовых вод, с последующим увеличением деятельности естественных источников и появлением новых ключей, просачивание сбросовых вод в оросительные каналы, ручьи и реки представляло все более и более очевидные доказательства в пользу значительных потерь поливных вод через глубинное просачивание. Мало того, опыт показал, что можно давать значительно меньше воды для получения хороших урожаев, чем думали раньше, вместе с тем площади успешно орошаемых из данного источника земель были значительно увеличены без заметного увеличения общего количества потребленной воды. Несомненно, однако, что такое увеличение поливных площадей не могло продолжаться неограниченно, так как известное количество воды действительно потребляется культурными растениями.

**191. Терминология и анализ.** Общее количество (брутто) потребленной воды (*gross duty of water*), головной отвод воды (*head-gate diversions*), количество действительного (нетто) использованной воды (*net duty*) — все это термины, знакомые для водопользователя в Америке, но специальный термин «*consumptive use*» — расход воды на потребление — недавно введен в Америке, и его не следует смешивать с термином «полезно потребляемая

<sup>1</sup> С 1924 по 1927 г. Комитет потребности в воде отдела орошения Американского общества гражданских инженеров уделил особое внимание «расходу воды на потребление при орошении». Большая часть материалов для этой главы взята непосредственно из отчета Комитета, впервые опубликованного в «Протоколах» в апреле 1928 г. Позднее они были напечатаны в «Грудах» общества, том 94 (1930), № 1760.

вода» или с другими терминами, применяемыми при обсуждении вопросов потребной для орошения воды.

Некоторые инженеры ограничили применение термина «расход воды на потребление» к «долинному расходу» (valley consumption) или ослаблению водного тока реки, тогда как другие включают в это понятие воду из всех источников или общий расход воды независимо от того, составляется ли он за счет речной воды, осадков, стоков или накачивания из грунтовых вод. Нужно думать, что условия применения терминов, которые будут даны в настоящей главе, помогут избежать путаницы при рассмотрении вопроса о расходе воды при орошении.

Для того чтобы внести больше удобства и краткости в определения и анализы понятий о расходе воды при орошении, мы применили математические знаки и использовали математические приемы, несмотря на то, что уравнения сравнительно просты.

Применяемые знаки. Более полное объяснение значения каждого из знаков приводится в дальнейшем. Для удобства ссылок сейчас приводим краткое значение каждого из применяемых знаков:

$U$  — расход воды на потребление (consumptive use),

$U_f$  — расход воды на потребление в отдельном хозяйстве (farm consumptive use),

$Q_a$  — количество доступного тепла, т. е. сумма температур за вегетационный период,

$e$  — испарение с поверхности воды,

$m$  — средняя влажность почвы за вегетационный период,

$s$  — почва с факторами, влияющими на урожай, — калием, фосфором, известью, гумусом и нитрифицирующей способностью,

$c$  — вид культуры,

$y$  — урожай культуры,

$D_f$  — потери через просачивание вглубь в отдельном хозяйстве,

$H_f$  — общее количество воды, данное хозяйству,

$R_f$  — поверхностный сток в хозяйстве.

**192. Расход воды на потребление в основном значении термина.** Под термином «расход воды на потребление» (consumptive use) подразумевается количество воды в акро-футах на акр посевной площади за год, поглощенное и транспирированное, т. е. непосредственно использованное растением на построение растительных тканей, вместе с водой, испарившейся с поверхности земли посевной площади<sup>1</sup>.

Прямым источником «потребленной» воды служит влага в почве в любой форме, в которой растение может ее поглотить.

<sup>1</sup> Термин «расход воды на потребление» не применяется здесь в строгом смысле слова, так как вода, которая проходит через растение и транспирируется растением, на самом деле не потребляется. Она лишь переводится при помощи растения и солнечной энергии из жидкой в газообразную фазу. Однако для целей настоящего анализа водяной пар в атмосфере счита тся практически необратимым, отсюда перевод воды из жидкого в газообразное состояние принимается за расход воды на потребление.

Непрямыми источниками потребленной воды являются остатки от осадков и орошения, запасенные на больших глубинах и которые поглощаются корнями растения вместе с грунтовой водой после того, как последняя поднимется в корнеобитаемую зону действием капиллярных сил.

Выяснение факторов, определяющих величину  $U$ , представляет несомненный интерес. Основные действующие факторы выражены в следующем уравнении<sup>1</sup>:

$$U = \text{функция } (Q_n, e, m, s, c, y). \quad (52)$$

Очевидно, что большинство факторов, влияющих на величину  $U$ , сами изменчивы. Изменчивость может быть несколько снижена в специальных условиях; например, в случае, если почва обильно удобрена органическим веществом и всеми основными элементами, необходимыми для питания растений, так что урожай данной культуры будет ограничен лишь доступным теплом, а не недостатком влаги или питания, можно опустить последние четыре фактора в уравнении (52) и выразить его таким образом:

$$U = \text{функция } (Q_n, e). \quad (52a)$$

В свете предшествующего изложения неразумно ожидать, что точное экспериментальное определение  $U$  дает определенную величину, которую всегда можно считать совершенно правильной. Однако существенно и возможно получить хотя бы приближенные значения  $U$ .

Сведения относительно величины  $U$  зависят от дальнейшего анализа. Дает ли  $U$  указания о потребленной воде на акр в том или ином определенном хозяйстве? В каждом отдельном хозяйстве вся заданная вода расходуется на потребление, на поверхностный сток и на просачивание вглубь.

**193. Расход воды на потребление в отдельном хозяйстве.** Пусть  $D_f$  — потеря путем просачивания вглубь в акро-футах на акр посевной площади в год. Эта потеря обычно не может быть определена с большой точностью прямыми способами. Применяя приведенные выше обозначения

$$U_f = U + D_f, \quad (53)$$

важно различать  $U_f$  и близкую ей величину  $H_f$ , которая определяется следующим образом:

Пусть  $H_f$  является суммой<sup>2</sup>:

- а) количества отведенной хозяйству поливной воды,
- б) воды, использованной из влаги, запасенной в капиллярной форме,

<sup>1</sup> Фито- и энтоциды могут уменьшить урожай, не уменьшая пропорционально потребленной воды. Несоответствующие агротехнические приемы могут также изменить соотношение между  $U$  и  $y$ .

<sup>2</sup> В XV главе в обсуждении источников воды, которыми снабжаются культурные растения при экспериментальной оросительной работе, количества, составляющие  $H_f$ , т. е. приведенные под литерами «а», «б», «с» и «д», обозначены соответственно знаками  $w$ ,  $m$ ,  $r$  и  $g$ .

с) осадков вегетационного периода,

д) воды, поглощенной из гравитационных грунтовых вод.

Все выражено в акро-футах на акр посевной площади за один год.

Пусть  $R_f$  — поверхностный сток воды в хозяйстве в акро-футах на посевной акр за год. Тогда, ставя знак равенства между суммой ирригационной воды, отведенной хозяйству, плюс осадки и использованная влага почвы, плюс количество воды, поглощенное из грунтовых вод, т. е. между  $H_f$  и расходом на потребление воды в хозяйстве плюс сток  $R_f$ , получим:

$$U_f = H_f - R_f \quad (54)$$

Уравнение (54) дает косвенный путь для вычисления хозяйственного расхода воды на потребление.

**194. Обычные затруднения.** Здесь кратко приводятся некоторые из наиболее часто встречаемых трудностей при вычислении расхода воды на потребление, вместе с данными по изменчивости этого расхода, после чего приводятся примеры фактических измерений. Факторы, обуславливающие изменчивость  $U$ , приведены в уравнении (52). Несомненно, что факторы правой части уравнения (52) сильно варьируют в разных местностях. Основываясь на тщательно проведенных опытах в Небраске, Киссельбах (Kieselbach) пришел к заключению, что «вовсе не существует такого явления, как определенная потребность в воде, константная для любой культуры», и подобно этому не имеется определенного расхода воды на потребление. Количество  $D_f$  в уравнении (53) зависит от:

- а) количества оросительной воды, задаваемой за каждый полив,
- б) равномерности распределения,
- в) частоты поливов,
- г) длины участка, орошенного за один прием, пуска воды и величины струи,
- д) механического состава почвы и подпочвы,
- е) глубины грунтовых вод,
- ж) сухости почвы между уровнем грунтовой воды и корнеобитаемой зоной при условии, что уровень этот залегает глубоко,
- з) вида культуры и глубины корнеобитаемой зоны,
- и) удельной водопроницаемости почвы и других менее важных факторов.

Во многих местностях  $D_f$  было велико в течение первых лет орошения, а затем стало относительно мало ввиду того, что: 1) пустынные почвы за годы орошения полностью увлажнились на значительные глубины, 2) земли лучше подготавливаются для поливов и 3) методы орошения усовершенствованы. Если рассматриваемое хозяйство имеет глубокие однообразные почвы с глубоким уровнем грунтовых вод, элементы водоснабжения могут быть учтены с удовлетворительной точностью, но на хрящеватых или неоднородных почвах расход почвенной влаги учесть трудно. Осадки могут сильно колебаться в зависимости от места, и поэтому очень существенно тщательно учитывать процент ошибки в элементах водоснабжения, которая может

получиться в связи с колебаниями осадков, особенно если участие осадков в общем количестве воды сравнительно велико. В некоторых местностях еще большим источником ошибок служит приток грунтовых вод из соседних возвышенных участков, измерить который иногда фактически невозможно.

Таким образом, измерение расхода воды на потребление требует полного анализа всех этих факторов. Мало того, данным по расходу воды не следует слишком доверять, если они не сопровождаются полными, подробными описаниями условий, в которых они были получены. Несомненно, что в некоторых местностях относительная величина подземного, недоступного для учета, притока и оттока настолько велика, что может совершенно обесценить данные по вычислению расхода воды на потребление. С другой стороны, стремление рационально использовать воды всяких источников, равно как и необходимость с достаточной точностью предсказывать размер площадей, которые могут быть обеспечены данным источником воды, оправдывают те необычайные усилия, которые прилагаются для осуществления возможности учета расхода воды на потребление в тех или иных специфических условиях.

**195. Экспериментальные измерения.** Литература и наблюдения по потреблению воды весьма обширны. Некоторые из этих наблюдений дают достаточно обоснованный материал для вычисления расхода воды на потребление ( $U$ ) и расхода на потребление в отдельных хозяйствах ( $U_p$ ). Однако многие наблюдения были проведены без измерения количества воды, извлеченного из запасов капиллярной влаги почвы, а некоторые исследователи упустили даже сведения о годовых осадках. Поэтому здесь мы будем ссылаться лишь на те опыты, которые наиболее полно и непосредственно учли все нужное для определения расхода воды на потребление ( $U$ ) и, в частности, расхода на потребление в отдельном хозяйстве ( $U_p$ ).

**196. Расход на потребление ( $U$ ), вычисленный на основании опытов в вегетационных сосудах.** Большинство исследований испарения и транспирации проведено в больших сосудах или потометрах. Киссельбах нашел, что ограничения в количестве применяемой почвы вследствие малой емкости сосудов или потометров послужило источником значительных ошибок вегетационного метода. Это не только влияло на транспирационные соотношения, но и на все развитие растения.

Из других трудностей при определении расхода на потребление при помощи вегетационного метода можно отметить следующие:

а) создание вокруг растений в сосудах тех же окружающих атмосферных условий, которые имеются в обычной полевой обстановке.

б) получение того же количества растений на единицу площади, которое имеется в полевых условиях,

в) создание в сосудах при набивке почвы тех же физических условий, как и в поле, обеспечивающих такую же аэрацию и передвижение воды.

Влияние этих факторов на расход воды настолько велико, что может в значительной степени обесценить данные, полученные вегетационным методом. Однако в некоторых местностях, где грунтовые воды близки к поверхности, вегетационный метод определения расхода может дать более надежные данные, чем полевой деляночный метод.

**197. Расход воды на потребление, определенный на полевых делянках.** Непосредственные определения расхода воды на потребление на полевых делянках считаются более надежными, чем определения вегетационным методом. Измерения в полевых условиях возможны только в том случае, если уровень грунтовой воды находится значительно ниже поверхности, так как при работе на малых делянках обычно нецелесообразно измерять количество воды, поглощенное растениями из грунтовых вод. Необходимо также, чтобы поливная вода задавалась низкими нормами, не превышающими 12,5 см слоя глубины за один раз на обычных почвах. Дача даже меньших количеств на почвах грубого механического состава часто сопровождается просачиванием вглубь за пределы корнеобитаемой зоны. Слишком высокие поливные нормы при обычных межполивных интервалах или слишком частые поливы, поддерживающие чрезмерно высокую влажность почвы, вызывают заметное передвижение влаги вниз в гравитационной или капиллярной форме и, таким образом, дают цифры расхода воды на потребление, превышающие действительные. Непосредственно измерять такое передвижение вниз нецелесообразно, отсюда попытка определения в этих условиях расхода на потребление ( $U$ ) может в действительности дать величину расхода на потребление в хозяйстве ( $U_p$ ). Когда просачивание вглубь равняется нулю, хозяйственный расход на потребление равен расходу на потребление; из этого следует, что расход на потребление равен водоснабжению за вычетом поверхностного стока. В большинстве полевых определений поверхностный сток был тщательно измерен или сведен до нуля соответствующей подготовкой опытных делянок. Факторы снабжения вообще не измерялись с большой точностью, даже на делянках, где значительная глубина грунтовых вод исключала возможность использования ее растениями. Это объясняется тем, что точные измерения количества воды, взятой из запасов капиллярной влаги, возможны только на сравнительно однородных почвах, не содержащих хрящеватых частиц. Даже при самых благоприятных почвенных условиях систематическое взятие пробы на влажность почвы значительно содействует учету водоснабжения делянки. Имеется, однако, возрастающая потребность в более совершенных исследованиях по определению расхода на потребление в разнообразных условиях.

**198. Работа Уидсо (Widtsoe) в штате Юта.** Уидсо положил начало измерению расхода на потребление на полевых делянках на опытной станции штата Юта, начиная с 1902 г. Его работа была проведена на землях с грунтовыми водами, залегающими около 22 м ниже поверхности; поэтому вполне допустимо считать, что растения не использовали грунтовой воды и полив-

мая вода служила единственным доступным источником влаги. Поверхностный сток на опытных делянках Уидсо отсутствовал, т. е.  $R_f = 0$ . Просачивание вглубь ( $D_f$ ) не измерялось. Если принять, что этими потерями можно пренебречь, тогда  $U = H_f$ , т. е. сумме количеств  $a$ ,  $b$ ,  $c$ , как было указано в уравнении (54). Уидсо измерял эти источники воды для 14 культур в течение 10 лет, с 1902 по 1911 г. включительно. Результаты для 7 культур, на которых проведена была большая часть работы, приводятся ниже. Осадки за вегетационный период в опыте Уидсо равнялись 0,42 фута (126 мм), сезонное потребление капиллярной влаги в верхних 8 футах почвы варьировало от 0,10 фута (30 мм) для кукурузы до 0,83 фута (249 мм) для люцерны. Количество поливной воды изменялось от 0,42 до 5,00 футов (от 126 до 1500 мм); полученные урожаи также значительно варьировали. Урожаи, полученные Уидсо, сопоставлены с общим количеством потребленной воды, и для получения расхода воды на потребление выбраны урожаи, которые использовали воду с наибольшей продуктивностью. Урожай почти всех культурных растений сначала увеличивается с увеличением общего расхода воды до известного предела, а затем либо снижается с дальнейшим увеличением расхода либо повышается лишь весьма медленно. Величина  $U$  определялась на этом переделе кривой.

Результаты представлены в таблице 16.

ТАБЛИЦА 16

РАСХОД ВОДЫ НА ПОТРЕБЛЕНИЕ ПО ОПРЕДЕЛЕНИЯМ УИДСО НА ПОЛЕВЫХ ДЕЛЯНКАХ НА ОПЫТНОЙ СТАЦИИ В ДОЛИНЕ КАШ ШТАТА ЮТА

| Культуры                  | Число отдельных испытаний | Урожай в тоннах на акр | Расход на потребление в акро-футах на акр |
|---------------------------|---------------------------|------------------------|---|
| Сахарная свекла . . . . . | 152                       | 21,3                   | 2,5                                       |
| Картофель . . . . .       | 124                       | 7,8                    | 2,2                                       |
| Люцерна . . . . .         | 49                        | 4,7                    | 3,3                                       |
| Кукуруза . . . . .        | 81                        | 2,9                    | 2,5                                       |
| Пшеница . . . . .         | 142                       | 1,3                    | 2,4                                       |
| Овес . . . . .            | 29                        | 1,5                    | 2,5                                       |

Работа Уидсо указывает на важность, при определении расхода воды на потребление, учета урожая. Важно также помнить, что потери через глубинное просачивание на делянках, на которых работал Уидсо, привели бы к увеличению полученного путем наблюдений  $U$  против действительного. Гораздо более вероятно, что приведенные величины  $U$  не малы, а напротив, велики.

**199. Работа Снельсона (Snelson) в провинции Альберта.** Работая на полевых делянках в Бруксе, в Канадской провинции Альберта, Снельсон давал умеренные поливные нормы и тщательно измерял влажность почвы до глубины в 6 футов (180 см) в начале и в конце вегетационного периода. При его методах рабо-

ты потери через просачивание должны были быть ничтожными, и поэтому можно считать, что  $U$  равнялось  $U_p$ . Если принять потери через просачивание за нуль, то, согласно опытам Снелсона с пшеницей на сравнительно плодородных почвах, расход на потребление колебался от 0,85 до 1,82 фута (от 255 до 546 мм) с колебаниями урожая от 3,7 до 18,5 ц на акр. Ичмень расходовал на потребление от 1,25 до 1,60 фута (от 375 до 480 мм) при урожаях от 14,8 до 18,8 ц на акр, а для люцерны потребление варьировало от 1,00 до 2,62 фута (от 300 до 786 мм) при урожаях от 1,0 до 5,7 т на акр.

**200. Работа Поуэрс (Powers) в штате Орегон.** Поуэрс произвел много измерений расхода на потребление на полевых участках в штате Орегон. Экспериментируя с люцерной в долине Вилламетт в 1911 г. и задавая умеренные поливы, он нашел величину расхода от 1,4 до 2,0 фута (от 420 до 600 мм) при урожаях от 4,1 до 5,2 т на акр. Расход на потребление для клевера был близок к таковому для люцерны. Определения влажности почвы в наблюдениях в долине Вилламетт первоначально производились до глубины в 180 см, но так как большинство бурений обнаруживало проникание воды всего лишь до 120 см, позднейшие бурения не производились за пределы этой глубины, за исключением нескольких случаев очень обильных поливов. Поуэрс был убежден, что «практически не происходило потерь через просачивание вглубь», очевидно ввиду того, что в более глубоких слоях часто попадалась сухая почва, а также и потому, что на этих больших глубинах во многих случаях наблюдалось увеличение влажности в межполивные периоды. Вряд ли эти доводы особенно убедительны: увеличение влажности на больших глубинах могло быть следствием передвижения капиллярной влаги книзу из более влажных поверхностных слоев, и в таком случае некоторое просачивание вглубь все же происходило, и измерения Поуэрса представляют не  $U$ , а  $U_p$ . Если же влага действительно поднималась вверх в значительных количествах из слоев, залегающих ниже зоны определения влажности почвы, тогда величина расхода на потребление, приведенная Поуэрсом, слишком мала, так как имелся неучтенный источник воды. Глубина грунтовой воды в работе Поуэрса не указана.

**201. Работа Гарриса (Harris) в штате Юта.** Работы Гарриса с сотрудниками на полевых участках на опытной станции штата Юта с 1911 г. по 1919 г. дают дополнительные сведения относительно расхода на потребление. Результаты этих исследований, равно как и исследований Уидсо, были изложены подробно в бюллетенях станции, которые издавались по мере продвижения работ. В конечном итоге Гаррис свел результаты всех 17 лет работы в одном бюллетене. Этот бюллетень содержит 6 чертежей, каждый из которых представляет отдельную культуру. Чертежи показывают соотношение между урожаями и количеством заданной воды. Гаррис не приводит показаний по потреблению почвенной влаги в каждой культуре за вегетационный период. Для целей сравнения он принимает это

потребление таким же, как у Уидсо. Мало того, для большей сравнимости результатов Гаррис в своих чертежах жирной линией отметил те глубины поливной воды, которые дали урожай, соответствующие урожаям Уидсо, подобранным им для вычисления  $U$  и представленным нами в таблице 16. На этих основаниях составлена таблица 17.

Эти данные довольно близко согласуются с результатами работы Уидсо для большинства культурных растений, за исключением люцерны и овса. Согласно бюллетеню № 173 опытной станции Юта, урожаем люцерны в 4,3 т на акр потребовал бы того же расхода, какой был получен Уидсо для 4,7 т, а именно 3,3 фута (990 мм или 9900 м<sup>3</sup> на га). Максимальный урожай овса на основании 17 лет работы у Гарриса несколько ниже, чем 1,5 т на акр, полученных Уидсо. Урожай в 1,3 т на акр, согласно кривым Гарриса, был бы получен при расходе на потребление в 2,5 фута (750 мм или 7500 м<sup>3</sup> на га), т. е. при количестве, необходимом, согласно работе Уидсо, для урожая в 1,5 т.

ТАБЛИЦА 17

ПРИМЕРНЫЕ ЦИФРЫ РАСХОДА ВОДЫ НА ПОТРЕБЛЕНИЕ, ОБОСНОВАННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯМИ НА ПОЛЕВЫХ ДЕЛЯНКАХ УИДСО И ГАРРИСА НА ОПЫТНОЙ СТАНЦИИ ШТАТА ЮТА

| Культуры                  | Урожай в тоннах на акр | Глубина поливной воды в футах | Глубина почвенной влаги и осадков в футах | Расход на потребление в акро-футах на акр |
|---------------------------|------------------------|-------------------------------|---|---|
| Сахарная свекла . . . . . | 21,3                   | 1,50                          | 0,86                                      | 2,4                                       |
| Картофель . . . . .       | 7,8                    | 1,67                          | 0,52                                      | 2,2                                       |
| Люцерна . . . . .         | 4,7                    | 3,33                          | 1,25                                      | 4,6                                       |
| Кукуруза . . . . .        | 2,9                    | 1,67                          | 0,52                                      | 2,2                                       |
| Пшеница . . . . .         | 1,3                    | 1,33                          | 1,15                                      | 2,5                                       |
| Овес . . . . .            | 1,5                    | 2,33                          | 0,81                                      | 3,1                                       |

**202. Работа Льюис (Lewis) в штате Айдаго.** Льюис измерял количества воды, потребленные девятью основными культурными растениями в долине Зменной реки около водопадов Туин в штате Айдаго. Он разделил свои наблюдения на две группы: 1) лучшие деланки, давшие более высокие урожай, и 2) средние деланки, давшие средние урожай. Его данные представлены в таблице 18 (стр. 221).

Можно отметить, что на лучших деланках зерновые, а также и картофель потребили менее 2 акро-футов на акр. Больше всего воды потребила люцерна, затем клевер. Среднее в приведенных культурах потребление равняется 1,75 фута (525 мм или 5250 м<sup>3</sup> на га) на лучших деланках и 1,53 фута (459 мм или 4590 м<sup>3</sup> на га) на средних деланках. Эти величины скорее представляют хозяйственный расход на потребление ( $U_p$ ), так как экспериментальные условия несомненно допускали просачивание вглубь.

**203. Работа Гемпчилля (Hemphill) в штате Колорадо.** Работая в долине Каш ля Пудр в штате Колорадо в течение 1916 и 1917 гг.,

ТАБЛИЦА 18

ХОЗЯЙСТВЕННЫЙ РАСХОД НА ПОТРЕБЛЕНИЕ ( $U_f$ ) СОГЛАСНО ИЗМЕРЕНИЯМ, ПРОВЕДЕННЫМ ЛЬЮНС НА ПОЛЕВЫХ ДЕЛЯНКАХ В ДОЛИНЕ ЗМЕНОЙ РЕКИ В ШТАТЕ АЙДАГО

| Культуры                               | $U_f$ на деланках в часовой продуктивности | $U_f$ на деланках средней продуктивности |
|--|--|--|
| Пшеница . . . . .                      | 1,78                                       | 1,18                                     |
| Овес . . . . .                         | 1,84                                       | 1,45                                     |
| Ячмень . . . . .                       | 1,68                                       | 1,58                                     |
| Горох . . . . .                        | 1,66                                       | 1,36                                     |
| Фасоль . . . . .                       | 1,20                                       | 1,20                                     |
| Кукуруза . . . . .                     | 0,96                                       | 1,29                                     |
| Картофель . . . . .                    | 1,63                                       | 1,60                                     |
| Клевер . . . . .                       | 2,14                                       | 1,54                                     |
| Люцерна . . . . .                      | 2,89                                       | 2,55                                     |
| Среднее при уравнивании веса культур . | 1,75                                       | 1,53                                     |

Гемпчилль измерял расход воды на двадцати пяти фермах. Поверхностный сток ( $R_f$ ) не учитывался на каждой ферме, но в среднем  $R_f$  равнялся 6% от заданного количества воды. Вычитая 6% от общего количества заданной воды при получении максимальных урожаев, получим количество, использованное в хозяйстве. Произвольно добавляя 0,3 фута для влаги, поглощенной из запасов зимних осадков, и 0,92 фута на осадки с 1 апреля по 30 сентября, получим хозяйственный расход на потребление, представленный в таблице 19.

ТАБЛИЦА 19

ХОЗЯЙСТВЕННЫЙ РАСХОД ВОДЫ НА ПОТРЕБЛЕНИЕ ПО ОПРЕДЕЛЕНИЯМ ГЕМПЧИЛЛЯ В ДОЛИНЕ КАШ ЛЯ ПУДР В ШТАТЕ КОЛОРАДО

| Культуры                  | Максимальный урожай в тоннах на акр | Хозяйственный расход на потребление для максимального урожая на акр | Средний урожай на акр | Хозяйственный расход на потребление для среднего урожая на акр |
|---------------------------|-------------------------------------|---|-----------------------|--|
| Сахарная свекла . . . . . | 15,1                                | 3,6   | 12,6                  | 3,0  |
| Картофель . . . . .       | 11,4                                | 4,2   | 6,7                   | 3,3  |
| Люцерна . . . . .         | 4,0                                 | 5,8   | 2,8                   | 3,7  |
| Ячмень . . . . .          | 1,3                                 | 3,4   | 0,88                  | 2,3  |
| Пшеница . . . . .         | 1,3                                 | 3,1   | 0,81                  | 2,1  |
| Овес . . . . .            | 1,4                                 | 3,6   | 0,83                  | 1,4  |

Насколько близко подходят хозяйственные расходы на потребление ( $U_f$ ), представленные в таблице 19, к расходам на потребление ( $U$ ), трудно сказать, так как величина потерь от просачивания вглубь неизвестна и обычно испытывает большие колебания в условиях конкретного хозяйства, чем на полевых деланочных опытах, приведенных выше.

Исследования чистой потребности (net duty) в воде в долине Север в штате Юта, проведенные Израэльсоном и Винзором (Israelsen and Winsor) в течение 7-летнего периода, с 1914 г. по 1920 г., дают некоторые сведения относительно хозяйственного расхода на потребление. В этих опытах количество воды, которое оказалось необходимым хозяйству для сахарной свеклы, картофеля, люцерны, исключая поверхностный сток ( $R_p$ ), равнялось соответственно 2,5, 2,0 и 2,8 акро-фута на акр (7 500, 6 000 и 8 400 м<sup>3</sup> на га). Осадков за вегетационный период выпало 0,3 фута; принимая, кроме того, потребление почвенной влаги в 0,3 фута, расход на потребление в хозяйстве ( $U_p$ ) будет равен: для сахарной свеклы — 3,1 (930 мм или 9 300 м<sup>3</sup> на га), для картофеля — 2,6 (780 мм или 7 800 м<sup>3</sup> на га) и для люцерны — 3,4 акро-фута (1 020 мм или 10 200 м<sup>3</sup> на га).

**204. Продуктивность расхода на потребление.** Помытуя, что определение расхода воды на потребление в практике орошения включает воду, транспирированную растениями и испарившуюся с поверхности почвы, совершенно очевидно, что чем ниже испарение на данное количество запасенной в почве воды, тем больше будет количество, транспирированное растением. При данной продуктивности транспирации низкое испарение увеличивает продуктивность расхода воды на потребление, и, напротив, высокое испарение уменьшает продуктивность расхода. Продуктивность расхода на потребление определяется, как отношение количества поливной воды, транспирированной растением в течение вегетационного периода, к количеству поливной воды, запасенной в почве, и которая, в конечном итоге, либо транспирируется, либо теряется путем испарения.

Пусть  $E_u$  — продуктивность расхода на потребление,

$W_i$  — поливная вода, транспирированная культурными растениями,

$W_s$  — поливная вода, запасенная в почве.

Тогда, согласно приведенному выше определению

$$E_u = W_i / W_s. \quad (55)$$

Продуктивность расхода на потребление в приведенном выше значении — несомненно физическое понятие. Оно поэтому существенно отлично от продуктивности транспирации, которая является биологическим понятием. В гл. XVII введены понятия продуктивности в отношении подачи и проведения воды в орошаемых хозяйствах. Наконец, продуктивность процесса в целом по добыванию воды из рек и других естественных источников и направление ее через выводные каналы, оросители и борозды в почву в легко доступной для растений форме определяются как продуктивность орошения.

Продуктивность расхода на потребление в приведенном выше определении приближается к максимуму в 100%, когда испарение предотвращено, и вся поливная вода, запасенная в почве, транспирируется растениями.

## СООТНОШЕНИЕ МЕЖДУ УРОЖАЕМ И ПОТРЕБЛЕННОЙ ВОДОЙ

Надежные данные по соотношению между потребленной водой и урожаем чрезвычайно нужны для засушливых районов. Продуктивное использование воды при орошении в значительной степени обуславливается обилием сведений, касающихся этого весьма важного соотношения, и применением такого рода сведений к практике оросительного дела. Естественно, что на соотношение между потребленной водой и урожаем влияют многие изменчивые факторы, как-то: климат, свойства почвы и, наконец, вид культуры. Пионеры орошения в Америке без помощи научных экспериментов познали две существенные истины, касающиеся соотношения между потребленной водой и урожаем, а именно: когда не потреблено воды, то не получается урожая, и, наоборот, когда потреблено достаточное количество воды, обеспечен обильный урожай. В дополнение к этим понятным положениям в настоящее время практика орошения имеет в своем распоряжении еще результаты экспериментальных работ по данной проблеме, проводившихся на протяжении трети столетия. В настоящей главе кратко описываются исследовательские организации и резюмируются методы и типичные результаты этой чрезвычайно интересной работы.

**205. Исследовательские организации.** Первые выдающиеся исследования урожая и потребления воды были проведены опытной станцией штата Юга в сотрудничестве с бюро федеральных оросительных исследований<sup>1</sup>, ныне бюро агрономического инженерного дела<sup>2</sup>. За последнее время большинство сельскохозяйственных опытных станций западных штатов стало уделять серьезное внимание этой проблеме.

**206. Методы исследования.** Обычным методом изучения соотношения между потребленной водой и полученным урожаем являются ежегодная дача различных количеств поливной воды на полевых делянках с разными культурами и учет полученного урожая. Для такого рода исследований применялись также большие сосуды, но в настоящей главе рассматриваются только результаты полевых деляночных опытов. В гл. XII было указано, что измерения в сосудах имеют ценность при изучении

<sup>1</sup> Federal Irrigation Investigations.

<sup>2</sup> Bureau of Agricultural Engineering.

факторов, влияющих на продуктивность транспирации. В этой же главе были изложены и источники ошибок при применении результатов исследований в сосудах для количественной оценки потребности в воде в полевых условиях. В полевых делячных опытах имеются в свою очередь источники ошибок, которые не могут быть всецело устранены и степень влияния которых даже не может быть точно учтена. При учете потребления воды в хозяйстве встречаются с теми же самыми осложняющими условиями, с которыми встречается экспериментатор, работающий на полевых делянках. В действительности ирригатору, как правило, приходится, кроме того, учитывать еще дополнительные источники ошибок.

**207. Источники потребляемой воды.** В засушливых районах большую часть воды полевые культуры получают от орошения. Дополнительными источниками воды служат: осадки периода вегетации; вода, запасенная в форме капиллярной влаги в почве в течение периода покоя растительности от осадков или поливов; и — для местностей с близким уровнем грунтовых вод — вода, поглощенная почвой и растениями в форме гравитационной влаги. В дальнейшем очень часто придется ссылаться на количества воды, ежегодно получаемые культурными растениями от каждого из этих источников; поэтому, для удобства и большей ясности в рассуждениях, количества воды в акрофутах, ежегодно потребляемые культурами от каждого из названных выше источников, а также и общее количество воды и количество, потерянное путем просачивания вглубь, представлены следующими обозначениями:

$U$  — общее количество воды, потребленное культурой, включая транспирацию и испарение с поверхности почвы;

$w$  — количество воды, обеспеченное поливами, т. е. оросительная норма минус поверхностный сток;

$r$  — осадки за вегетационный период;

$m$  — количество воды, поглощенное из запасенной капиллярной влаги;

$g$  — количество воды, поглощенное из гравитационной грунтовой воды;

$D_f$  — вода, потерянная с делянки в течение вегетационного периода за счет просачивания вглубь.

Пренебрегая боковым капиллярным притоком и оттоком и принимая во внимание, что вся доступная для культурных растений вода либо израсходована на потребление, либо просочилась вглубь, очевидно, что

$$U + D_f = w + r + m + g. \quad (56)$$

**208. Величины и измерения.** Некоторые полевые опытные делянки, как, например, на ферме Гринвилль опытной станции штата Юта, находятся на хорошо дренированных глубоких почвах, где уровень грунтовых вод расположен на глубине 18 или более метров. На таких делянках величина  $g$  несомненно ничтожна. На делянках на сходных, глубоких, хорошо дренированных почвах с незначительным количеством осадков во

время вегетационного периода, как, например, в долине Сакраменто или в других частях Калифорнии, величина  $r$  также близка к нулю. Для таких условий

$$U + D_r = w + m. \quad (56a)$$

При проведении полевых делячных опытов обычно имеется возможность выбрать участки, на которых уровень грунтовых вод настолько низок, что количество влаги, поглощенной из этого источника, т. е.  $g$ , либо очень мало, либо равно нулю. Это очень важный факт, так как очень трудно, если не невозможно, производить надежные измерения  $g$ . В относительно однородных почвах величина  $m$  может быть определена с достаточной точностью путем измерений влажности почвы до потребной глубины в начале и в конце вегетационного периода. Важным элементом при оценке  $m$  является определение  $A_s$ , т. е. кажущегося удельного веса почвы в ее естественном сложении и на соответствующую глубину. Зная кажущийся удельный вес ( $A_s$ ), можно легко перевести процент влажности почвы ( $P_w$ ) в эквивалентную глубину водного слоя ( $d$ ), применяя ход рассуждений, изложенный в гл. IX. Величина  $m$  представляет количество капиллярной влаги в почве в начале вегетационного периода за вычетом количества ее в конце этого периода, выраженное в футах. Как правило,  $m$  — положительная величина, но при больших осадках или обильном поливе в конце вегетационного периода может оказаться и отрицательной величиной. Величина  $w$  может быть измерена любым стандартным методом определения количества поливной воды, но, конечно, нужно выбирать метод, наиболее приспособленный к данному способу подачи воды. Для определения величины осадков ( $r$ ) также применяются стандартные методы. При попытках оценить влияние осадков ( $r$ ) на урожай некоторая неточность вносится тем фактом, что определенное количество осадков в форме нескольких небольших дождей обуславливает значительно большие потери через испарение, чем то же количество осадков, выпадающих в виде одного крупного дождя. По этой причине некоторые исследователи пренебрегают незначительными осадками. Однако во всяком случае осадки вегетационного периода ( $r$ ) целиком входят в расход на потребление, за исключением потерь от поверхностного стока или просачивания вглубь. Соотношение величин  $w$ ,  $r$ ,  $m$  и  $g$  варьирует в различных точках засушливых районов. Например, в южной Калифорнии  $w$  может быть равно или больше чем  $5m$  и  $r$  может быть равным нулю, тогда как в некоторых частях Канады  $r$  иногда больше чем  $w + m$ . Величина  $g$  зависит в значительной степени от уровня грунтовых вод и от глубины залегания корней.

**209. Просачивание вглубь.** При определении потребленной воды просачивание вглубь ( $D_r$ ) является одним из наибольших источников ошибок, по крайней мере в некоторых полевых делячных опытах. До сих пор не имеется хорошо разработанных методов измерения  $D_r$  при полевых делячных испы-

таниях. Большие поливные нормы несомненно содействуют увеличению  $D_f$ , тогда как умеренная оросительная норма за период вегетации при малых поливных нормах снижает эти потери. Очень трудно избежать чрезмерных потерь через просачивание вглубь при орошении мелких песчаных или хрящеватых почв легкой структуры, даже при применении малых делянок. Несомненно, что большие потери через просачивание вглубь при орошении почв среднего механического состава и проницаемости происходят вскоре после полива и крупных дождей, когда почва почти или совсем насыщена и удельная водопроницаемость ее приближается к своему максимуму. Важно помнить, однако, что в ненасыщенных почвах и при незначительной скорости просачивания, если последнее продолжается весь вегетационный период, оно может привести к чрезмерным потерям. Как показано в гл. IX, потери через глубинное просачивание из верхних 180 см гринвилльской почвы продолжаются долгое время после полива делянок, при котором они были вполне насыщены водой.

Хотя в большинстве полевых деляночных опытов, упомянутых здесь, величина  $D_f$  не измерялась, можно все же считать их результаты весьма ценными для иллюстрации важного значения соотношения между потребленной водой и полученным урожаем. Результаты опытов дают основания для оценки потребностей в воде в условиях, сходных с условиями данных опытов.

**210. Обзор экспериментальной работы.** В связи с тем, что вода является ограничивающим фактором урожайности засушливых районов, для ирригаторов таких районов особенно важно быть хорошо осведомленными в вопросах продуктивного и экономного использования воды. Это не значит, что достаточно знакомства с одним только соотношением между урожаем и потребленной водой для рационального использования воды; это соотношение является базой при использовании других существенных дополнительных сведений. Далее приводится краткий обзор наиболее типичных результатов опытов в западных штатах. Некоторые из приведенных опытов проводились в течение только одного, двух или трех лет и при очень ограниченных средствах, поэтому не все величины в уравнении (56) были измерены. Мало того, как правило, особенно в более сухих районах, пренебрегали величинами  $r$ ,  $m$ ,  $g$  и  $D_f$  в уравнении (56), что приводило к пониманию  $U$  равным  $w$ . С другой стороны, некоторые исследователи хотя и сознавали, что величины  $r$ ,  $m$ ,  $g$  и  $D_f$  порознь или в сочетании влияют на урожайность, но ввиду того, что эти величины находятся под воздействием внешних условий, из которых некоторые трудно поддаются учету, то в действительности они все же скорее исследовали отношение урожая к величине  $w$ , чем к величине  $U$ . Для того чтобы сделать результаты деляночных опытов по орошению более сравнимыми, где бы они ни проводились, желательно измерять все источники воды или, по крайней мере, пытаться приблизительно учитывать количество воды, полученной из разных источников, и приводить результаты в отчете. Измерение количества воды.

полученного культурами из всех источников, не только позволяет лучше сравнивать результаты деляночных опытов различных засушливых районов, но и дает примерное соотношение между урожаем и количеством потребленной воды в полужасушливых и влажных районах.

**211. Обозначения и кривые.** Для удобства при указании на урожай применяется обычно обозначение  $y$ . Измерения  $y$  даются в тех единицах, в которых обычно принято выражать урожай тех или других культурных растений. Применяя букву  $y$  для обозначения урожая, можно выразить общую зависимость:

$$y = \text{функция } U. \quad (57)$$

Уравнение (57) устанавливает, что урожай находится под влиянием или в некоторой зависимости от количества потребленной воды, или, иными словами, что урожай находится в некоторой связи с потребленной водой. Экспериментальные данные, рассматриваемые в настоящей главе, показывают, каково соотношение между  $y$  и  $U$  в почвенных и климатических условиях различных опытов. Соотношение это изгляднее всего выступает при изображении результатов опытов в форме графиков. Урожай отмечается на оси ординат, а количества потребленной воды — на оси абсцисс. Так как не всегда возможно из имеющихся в распоряжении отчетов получить достаточно точную оценку количества  $U$ , тогда как величина  $w$  дается всегда, то многие из представленных кривых показывают урожай, полученный при различных количествах поливной воды ( $w$ ). Эти кривые обозначаются как кривые ( $y, w$ ). При таких почвенных и климатических условиях, которые имеются на университетской ферме в Дэвис в Калифорнии или на Гринвилльской опытной ферме в Логан в штате Юта, где ежегодно выпадает около 425 мм осадков, удовлетворительные урожаи люцерны и пшеницы получаются без орошения. Поэтому кривые ( $y, w$ ) для этих культур пересекают ось ординат выше ее исходной или нулевой точки. Если для какого-либо опыта  $g = 0$ , но  $m$  и  $D_s$  неизвестны, тогда как  $w$  и  $r$  указаны, то кривая, изображающая экспериментальные данные, обозначается [ $y, (w + r)$ ]. С другой стороны, если все величины  $w, r, m$  и  $g$  известны и есть основания предполагать, что  $D_s = 0$ , то кривая обозначается ( $y, U$ ).

Основной целью изображения типичных результатов опытов в форме кривых на рис. от 112 до 121 послужило желание показать общее направление в соотношении между урожаем и водой и основные принципы, на которых оно основывается, не вдаваясь в детальное изложение всех экспериментальных данных. Рассмотрим главные культуры, а именно люцерну, пшеницу, картофель и сахарную свеклу.

**212. Опыты с люцерной.** Соотношение между урожаем люцерны и потребленной водой по определениям на полевых делянках в Аризоне, Калифорнии, Айдаго, Невада, Новой Мексике и Юта приведены на рис. от 112 до 115. На горизонтальной оси каждого из рисунков отложена глубина воды за год в футах. Там.

где учитывалась лишь поливная вода, кривая обозначена ( $y, w$ ), как уже указывалось выше. В приведенных исследованиях не было попыток определить величину  $g$ . Величина  $D_f$  в каждом отдельном случае просто отмечается как большая или малая.

Подробности относительно почвенных условий, осадков, глубины залегания грунтовых вод, размеров делянок и максимальных урожаев сведены в таблице 20.

ТАБЛИЦА 20

ПОЧВЕННЫЕ УСЛОВИЯ, ОСАДКИ, ГЛУБИНА ЗАЛЕГАНИЯ ГРУНТОВЫХ ВОД И ДРУГИЕ ДАННЫЕ ОПЫТНЫХ СТАНЦИЙ, ГДЕ ПРОВОДИЛИСЬ ИССЛЕДОВАНИЯ СООТНОШЕНИЯ МЕЖДУ УРОЖАЕМ ЛЮЦЕРНЫ И ПОТРЕБЛЕННОЙ ВОДОЙ

| Штат и город                | Класс почвы                                     | Глубина залегания грунтовых вод в футах | Примерное количество осадков за год в футах | Число лет наблюдений | Максимальные урожаи в тоннах | Площадь делянок в акрах |
|-----------------------------|---|---|---|----------------------|------------------------------|-------------------------|
| Хиглей, Аризона . . . . .   | Супесь  | Свыше 100                               | 0,5   | 1                    | 8,2                          | 0,01                    |
| Дэвис, Калифорния . . . . . | Суглинок  | 20—30                                   | 1,4   | 6                    | 9,2                          | 0,28                    |
| Айдахо . . . . .            | Тяжелый суглинок                                | —                                       | 0,75  | 5                    | 8,2                          | —                       |
| Невада . . . . .            | Мелкий суглинок с хрящеватой песчаной подпочвой | —                                       | —   | 5                    | 6,0                          | 0,15                    |
| Логан, Юта . . . . .        | Суглинок  | 60—80                                   | 1,4   | 28                   | 5,8                          | 0,04                    |
| Ричфильд, Юта . . . . .     | Тонкая супесь                                   | 50—70                                   | 0,7   | 2                    | 5,5                          | 0,58                    |

Рис. 112 показывает относительно высокий расход на потребление воды для люцерны в Хиглей в Аризоне по сравнению с потреблением в Дэвис в Калифорнии. Например, принимая во внимание лишь поливную воду ( $w$ ) для продукции урожая в 6 т, в Хиглей было потреблено 3,9 фута воды по сравнению с 1,2 фута в Дэвисе. Уровень грунтовых вод в Хиглей равен 100 или более футов глубины, отсюда весьма вероятно, что величина  $g$  уравнения (56) незначительна или равна нулю. Измерения суммы  $m$  и  $r$  для нескольких культур во многих испытаниях на опытной станции Юты показали, что  $m+r$  равняется примерно 60% годовых осадков. Оценивая  $m+r$  соответственно для Хиглей и других станций, где эти величины не были определены, из уравнения (56) ясно, что если

$$g=0, \text{ то } U + D_f = w + 0,6 R,$$

где  $R$  — годовое количество осадков. Основываясь на этом, выведена пунктирная кривая для Хиглей. Если величина  $D_f=0$ , тогда, по всей вероятности, пунктирная кривая пройдет через точку пересечения оси абсцисс и ординат, ввиду

того, что когда  $U=0$ , то несомненно и  $y=0$ , так как не может быть урожая без потребления некоторого количества воды. Однако величина  $y$  может быть равна нулю и тогда, когда  $U$  больше нуля, потому что могут быть и бывают обычно некоторые потери воды с поверхности опытной делянки путем испарения, даже тогда, когда на ней ничего не произрастает. Нельзя с достоверностью сказать, что в опытах в Хиглей  $D_f=0$ . Рис. 112 показывает, что если продолжить пунктирную линию до оси абсцисс, сумма  $U+D_f$  будет равняться 1,5

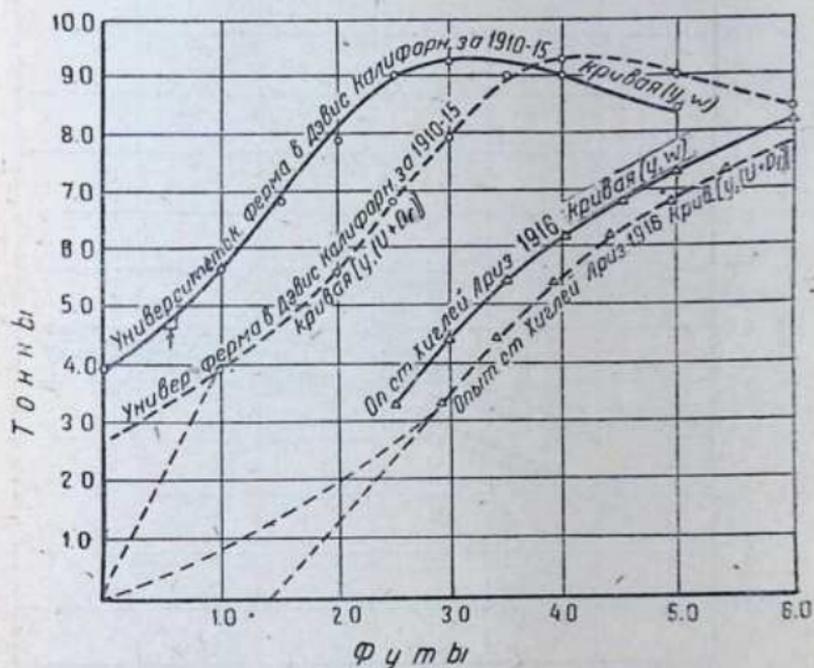


Рис. 112. Кривые соотношения между урожаем и водой для люцерны в Дэвисе в Калифорнии и в Хиглей в Аризоне. На оси ординат представлен урожай люцерны в тоннах на акр, на оси абсцисс — оросительная норма в футах.

фута, когда  $y=0$ . Так как очень сомнительно, чтобы  $y=0$ , когда  $U=1,5$  футов, то нужно думать, что  $D_f$  было вероятно заметной величиной или, другими словами, что значительное количество воды было потеряно на делянках в Хиглей путем просачивания вглубь.

Продолжение пунктирной части кривой для Дэвиса до оси ординат также показывает, что, когда сумма  $U+D_f=0$ , урожай люцерны равнялся примерно 2,5 т на акр. Но не следует забывать, что кривая  $[y, (U+D_f)]$  для люцерны в Дэвисе была составлена на основе предположения, что величина  $g=0$ . Совершенно очевидно, что  $U$  не могло быть равным нулю, когда  $y$  равнялся 2,5 т, потому что растение не может произрастать без

воды. Поэтому, так как сумма  $U + D_f = 0$ , при  $y = 2,5$  т, и так как  $U$  должно быть больше 0, то, очевидно, для контрольной делянки, где  $w = 0$ , что

$$U = m + r + (g - D_f) > 0.$$

В Дэвисе в Калифорнии, как правило,  $r = 0$ , а  $m$  больше нуля. Если  $m + (g - D_f) > 0$ , то из этого следует, что на контрольной делянке, где  $w = 0$ , растения вероятно получили

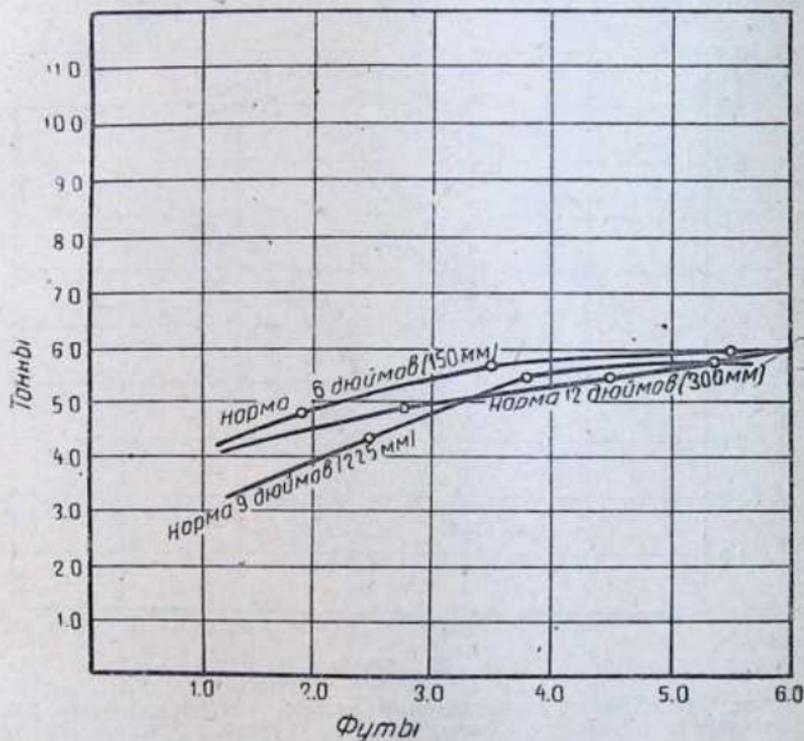


Рис. 113. Кривые соотношения между урожаем и водой для люцерны в Рено в Неваде. На оси ординат представлен урожай люцерны в тоннах на акр, на оси абсцисс — оросительная норма в футах.

некоторое количество воды из грунтовых вод. Если  $D_f$  равнялось бы нулю, тогда и  $g$  могло бы равняться нулю и все же удовлетворяло бы вышеприведенному соотношению: в этом случае единственным источником для обеспечения 2,5 т люцерны служила бы вода, запасенная в почве от зимних осадков.

Рассуждения в предыдущем параграфе указывают на некоторые из трудностей при использовании экспериментальных наблюдений над соотношением между урожаем и потребленной водой и подчеркивают важность измерения воды, полученной из всех возможных источников.

Просачивание вглубь вероятно является большим источником потерь, чем обычно принято думать, и весьма вероятно, что в тех случаях, где  $w$  велико, на делянках шло более усиленное просачивание вглубь.

Полное насыщение всех пор в почве вовсе не является существенным условием для заметных потерь через просачивание. Для примера рассмотрим идеальную почву однородного механического состава и структуры, обладающую капиллярной влагой при таком ее распределении, когда не имеется неуравновешенных капиллярных сил. В этом случае сила, действующая

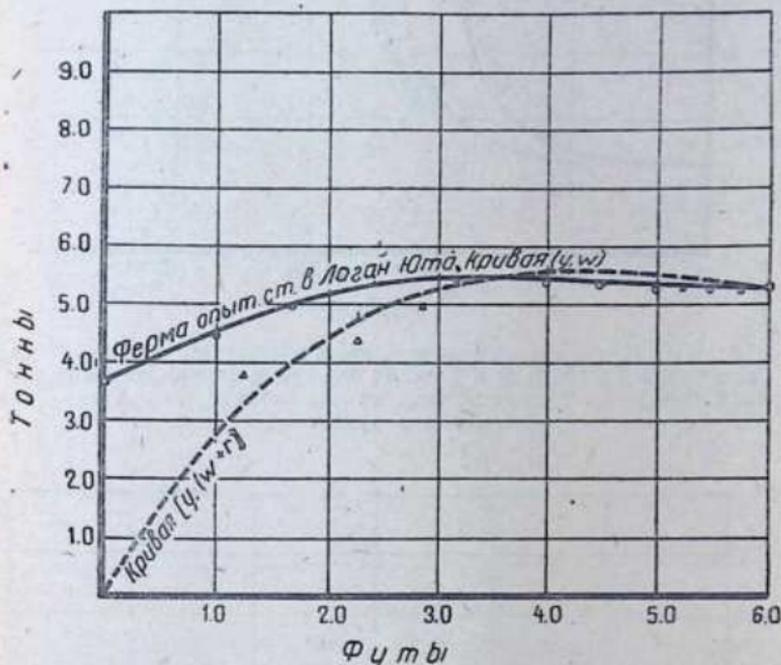


Рис. 114. Кривые соотношения между урожаем и водой для люцерны в Логане в Юта. На оси ординат представлен урожай люцерны в тоннах на акр, на оси абсцисс — оросительная норма в футах.

щая книзу, будет равняться 32,2 фута на единицу массы (футы/фунты/секунды) и ток книзу будет равняться (согласно таблице 11) 0,3 куб. фута на кв. фут за 24 часа для почвы, имеющей удельную водопроницаемость, равную  $1,08 \times 10^{-7}$ . Если такое состояние влажности поддерживалось бы в течение только половины времени 4-месячного поливного сезона, общий сток книзу капиллярной влаги, т. е.  $D_r$ , равнялся бы  $60 \times 0,3 = 1,8$  куб. фута на 1 кв. фут (540 мм). Однако удельная водопроницаемость, по всей вероятности, уменьшается с уменьшением влажности, и поэтому очень возможно, что глубокие слои мелкоземистых сухих почв, залегающих под опытными делянками, могут составить довольно серьезное временное

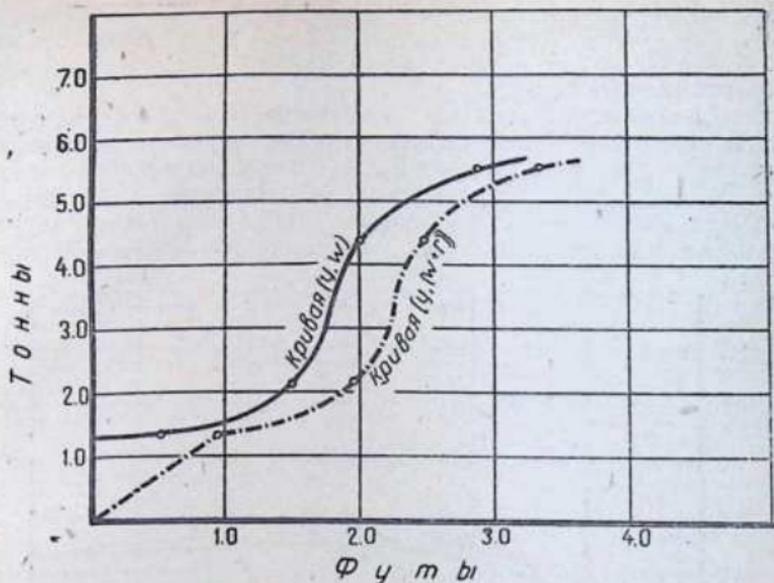


Рис. 115. Кривые соотношения между урожаем и водой для люцерны в Ричфильде в Юта. На оси ординат представлен урожай люцерны в тоннах на акр, на оси абсцисс — оросительная норма в футах.

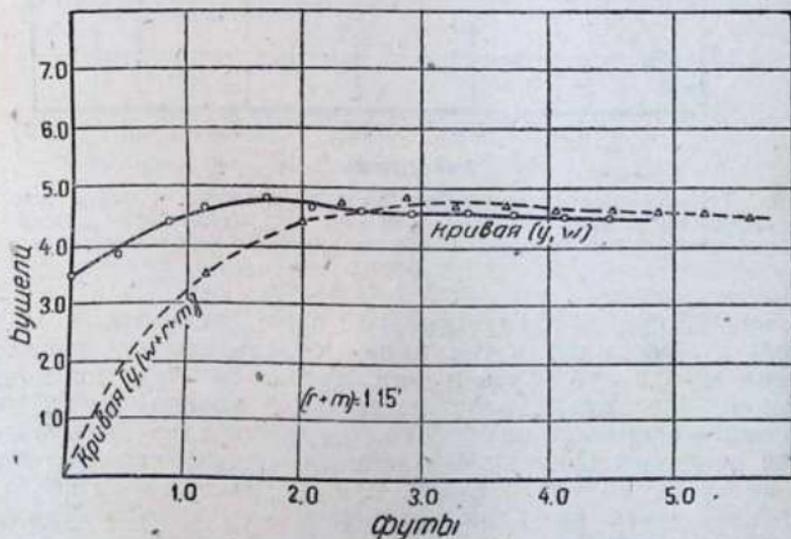


Рис. 116. Кривые соотношения между урожаем и потреблений водой для пшеницы в Логане в штате Юта по данным за 28 лет. На оси абсцисс представлена оросительная норма в футах, на оси ординат — урожай пшеницы в бушелях на акр.

препятствие для избыточного просачивания воды в капиллярной форме.

Вышеизложенные соображения относительно возможностей использования грунтовых вод или потерь через глубинное просачивание в Дэвисе в Калифорнии приведены специально с целью указать на те задачи, с которыми сталкиваются исследователи при изучении соотношений между урожаем и потребленной водой. Хотя в отношении опытов, уже законченных, эти толкования являются лишь предположительными, тем не

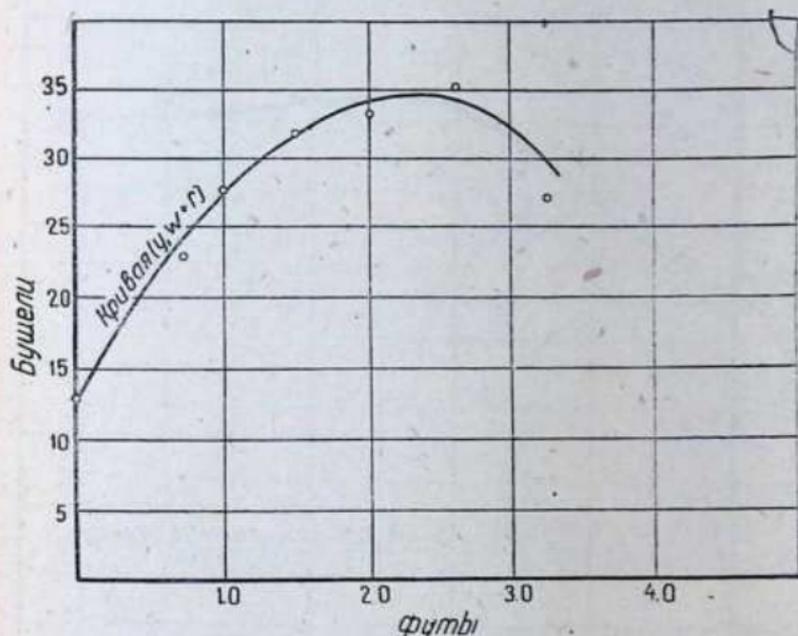


Рис. 117. Кривые соотношения между урожаем и потребленной водой для яровой пшеницы в Гудинге в штате Айдахо. На оси абсцисс представлена оросительная норма в футах, на оси ординат — урожай пшеницы в бушелях на акр.

менее такой анализ может оказать помощь при планировании новых опытов на полевых делянках.

Сравнение рис. 112—115 показывает, что только в одном случае избыточное количество воды обусловило снижение урожая люцерны. В Дэвисе в Калифорнии урожай для  $w=5$  футов (1500 мм) почти на 1 т меньше на акр, чем при  $w=3$  футов (900 мм). Все другие приведенные опыты с люцерной, за исключением таковых в Логане в Юта, обнаруживают непрерывное возрастание  $y$  по мере увеличения  $w$ . Но, однако, важно отметить, что наибольшая скорость увеличения урожая с увеличением воды наблюдается при малых дозах воды. Например, в Дэвисе в Калифорнии увеличение  $w$  с 1,0 фута (300 мм) до 1,5 фута (450 мм) вызвало увеличение  $y$  на 1,2 т, тогда как увеличение

$w$  с 2,5 (750 мм) до 3,0 фута (900 мм) увеличило  $y$  всего лишь на величину, немного большую 0,2 т. Скорость изменения  $y$  с изменением  $w$  обозначается отношением  $dy/dw$ , как указано на кривой Университетской фермы ( $y, w$ ) (см. рис. 112).

Отношение  $dy/dw$  выражается в том уклоне кривой, точнее, касательной к ней по отношению к оси абсцисс, который имеется в любой ее точке. На кривой ( $y, w$ ) в опытах в Дэвисе

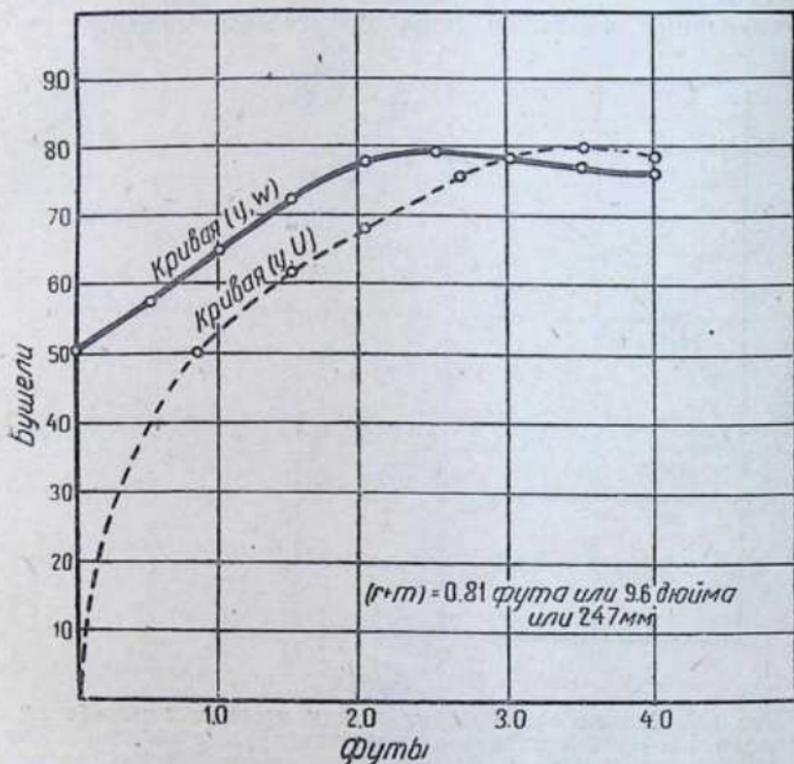


Рис. 118. Кривые соотношения между урожаем и потребленной водой для овса в Логане в штате Юта. На оси абсцисс представлена оросительная норма в футах, на оси ординат—урожай овса в бушелях на акр.

для величин  $w$ , превышающих 3 фута,  $y$  уменьшается, и отсюда уклон кривой ( $y, w$ ) отрицателен. Уклон кривой ( $y, w$ ), представляющий результаты опытов с люцерной в Логане в Юта (см. рис. 114), относительно слабый даже для малых величин  $w$ , а для величин  $w$ , превышающих 2,5 фута,  $dy/dw = 0$ . Это означает, что с дальнейшим увеличением  $w$  не происходит заметного изменения в урожае люцерны. Скорость увеличения  $dy/dw$  в Ричфильде в Юга, как показано на рис. 115, довольно значительна при величине  $w$  от 1,5 до 2,5 фута (от 450 до 600 мм), но затем при величинах  $w$ , превышающих 2 фута, становится меньше, и форма кривой заставляет предполагать,

что она дошла бы до нуля, — недалеко за тем максимумом  $w$  который применялся в настоящем опыте.

213. Использование экспериментальных данных. Изучающим проблему орошения очень скоро приходится убеждаться, что правильное использование результатов опытов есть желанная,

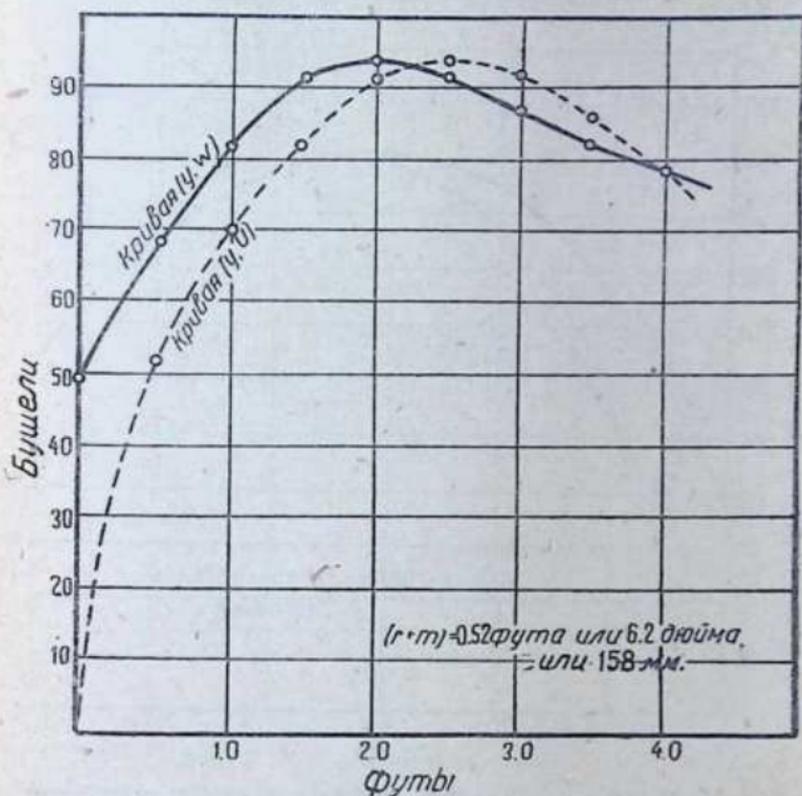


Рис. 119. Кривые соотношения между урожаем и потребленной водой для кукурузы в Логане в штате Юта. На оси абсцисс представлена оросительная норма в футах, на оси ординат — урожай кукурузы в бушелях на акр.

но, вместе с тем, и нелегко выполнимая цель. Некоторые выводы не представляют затруднений на основании рассмотрения кривой  $(y, w)$ , подобно той, которая представляет результаты опытов в Дэвисе. Например, совершенно очевидно, что в условиях опытов в Дэвисе количества воды свыше 3 футов (900 мм) вредны для люцерны и расточаются зря. Прежде чем приступить к разбору общих методов истолкования или применения полученных опытным путем кривых соотношения между урожаем и водой, читателю несомненно будет интересно ознакомиться с результатами опытов с некоторыми важными зерновыми культурами и корнеплодами.

214. **Зерновые культуры.** Результаты полевых делячных опытов по соотношению потребленной воды и урожая пшеницы овса и кукурузы в Логане в Юта и пшеницы в Гудинге в Айдаго представлены на рис. от 116 до 119 включительно. Каждая из кривых ( $y, w$ ) обнаруживает заметное уменьшение  $y$ , когда  $w$  очень велико. На рис. 116 представлены результаты 28-лет-

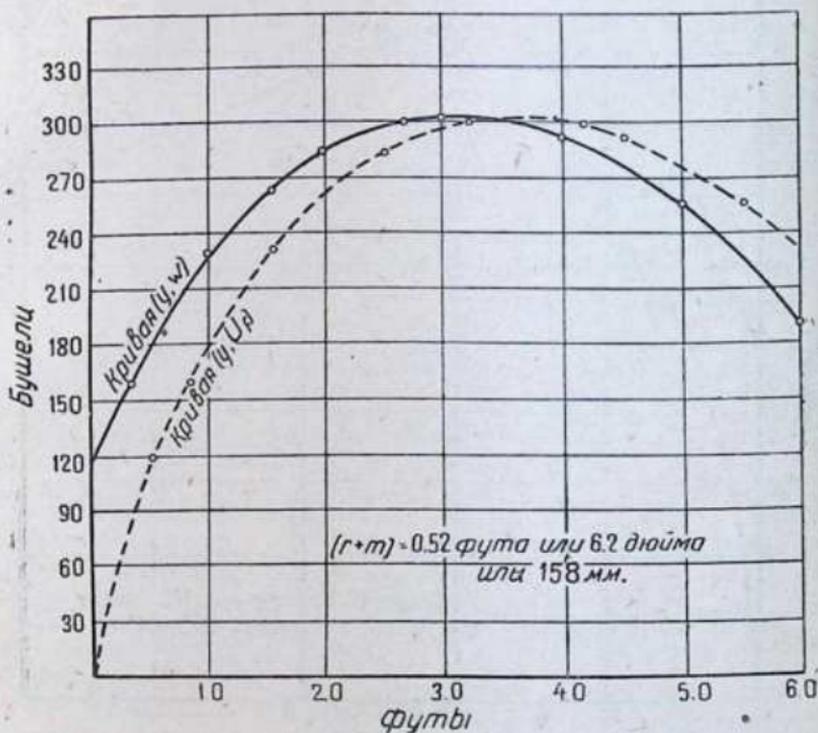


Рис. 120. Кривые соотношения между урожаем и потребленной водой для картофеля в Логане в штате Юта. На оси абсцисс — глубина воды в футах, на оси ординат — урожай картофеля в бушелях на акр.

ней опытной работы по исследованию отношения  $y$  к  $w$  и  $y$  к  $(w+r+m)$  для пшеницы на Гринвилльской ферме в Логане штата Юта. Они показывают, что без орошения может быть получен средний урожай примерно в 35 бушелей пшеницы на акр (25 ц на га). Кривая показывает, что очень мало выгадывается при применении  $w$  более 2 футов (600 мм) и до 4,5 фута (1350 мм). Учитывая, что для гринвилльских почв величина  $g=0$ , и принимая, что на пшеничных делянках, получавших очень небольшие количества воды,  $D_f=0$ , из уравнения (56) следует, что  $U=w+r+m$ . Для пшеницы  $r+m=1,15$  фута (345 мм), как было указано в гл. XIV. На этом основании построена пунктирная кривая (см. рис. 116). Как было показано

ранее, кривая  $(y, U)$  должна пройти либо через начало координат либо пересечь ось абсцисс направо от основания.

Рис. 117 представляет кривую  $[y, (w+r)]$  для яровой пшеницы в Гудинг в штате Айдаго. Определенных сведений относительно  $m$  и  $g$  в Гудинг не имеется.

Рис. 118 и 119 представляют результаты расширенных опытов по изучению влияния полива на урожай овса и кукурузы на Гринвилльской ферме близ Логана в штате Юга. На обоих рисунках видно наблюдавшееся в опытах определенное снижение урожая при избыточных количествах воды.

На рис. 118 и 119 видно, что  $dy/dw$  становится ничтожным

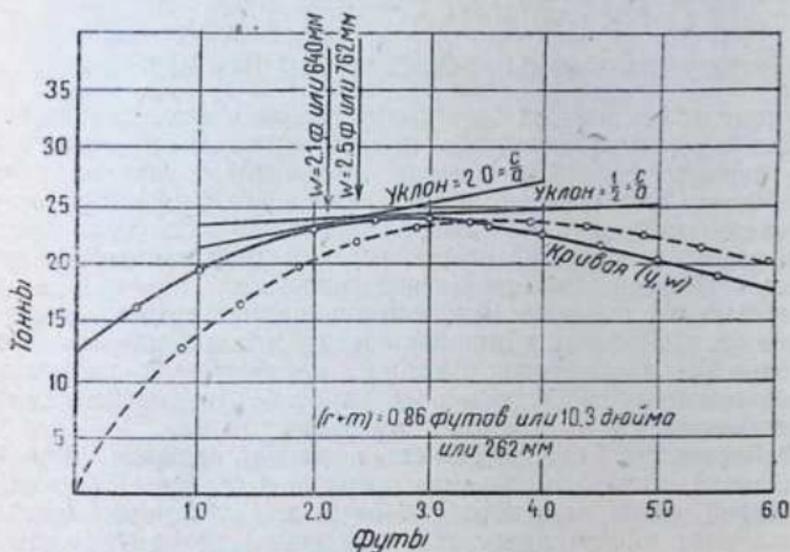


Рис. 121. Кривые соотношения между урожаем и потребленной водой для сахарной свеклы в Логане в штате Юга вместе с уклоном кривых  $(y, w)$  в точках, где  $w = 2,1$  фута и 2,5 фута. На оси абсцисс представлена оросительная норма в футах, на оси ординат — урожай в тоннах на акр.

для величин  $w$  свыше 2 футов (600 мм) для овса и для кукурузы свыше 1,5 фута (450 мм).

**215. Корнеплоды и клубнеплоды.** На рис. 120 и 121 показаны результаты 28-летней работы с картофелем и сахарной свеклой. Как видно на рис. 120, картофель оказывается очень чувствительным к поливам, обнаруживая очень крутой ход кривой, т. е. большие величины  $dy/dw$  как при недостаточных, так и при избыточных количествах воды. Для величины  $w$  от 2,5 до 3 футов (от 750 до 900 мм)  $dy/dw$  невелико; оно равняется нулю при значении, равном 3,0 футам (900 мм), и становится отрицательным при  $w$ , превышающем 3 фута (900 мм). На рис. 121 показано, что для сахарной свеклы  $dy/dw$  очень мало для  $w$  свыше 2 футов (600 мм), равняется нулю при 2,5 фута (750 мм) и становится отрицательным за пределами этого значения  $w$ .

**КОЛИЧЕСТВА ВОДЫ, ПОТРЕБЛЯЕМЫЕ ПРИ ОРОШЕНИИ**

Во многих орошаемых долинах на западе США, да и вообще в большинстве сухих районов других стран, количество воды, доступное для целей орошения, недостаточно для покрытия потребности всех обрабатываемых земель, нуждающихся в воде для повышения своей производительности. Поэтому количество воды, потребляемое при орошении, для засушливых районов является вопросом первостепенной важности.

В настоящей главе рассматривается количество воды, потребляемое на нескольких типичных оросительных системах. Одновременно рассматриваются факторы, влияющие на количество потребленной воды, а также и наиболее широко принятая терминология для выражения потребления воды.

**216. Количество воды, потребное на единицу площади.** Для обозначения отношения количества потребляемой воды к площади орошенной земли или, короче говоря, для обозначения количества воды, необходимого для орошения единицы площади, в Америке применяется специальное выражение «duty of water», что буквально означает «обязанность или долг воды». Когда большое количество воды задается малой площади земли, говорят, что «обязанность» низка; и, наоборот, когда малое количество воды задается большой площади земли, говорится, что «обязанность» высока. Выражение «duty of water» на самом деле вводит в заблуждение и часто применяется ошибочно; для непосвященных оно как бы возлагает обязанности на воду. Вообще это неудачный термин, и следовало бы от него отказаться. Александер (Alexander) показал, что этот термин является в действительности пережитком древней ирригационной терминологии.

В дальнейших параграфах, касаясь тематики, обычно трактуемой под заголовком «обязанность воды», для обозначения объема воды, задаваемого на единицу площади земли, будет применяться выражение «количество потребленной воды».

**217. Единицы, применяемые для выражения потребления.** В основном единицы, применяемые для выражения количества потребленной оросительной воды, обычные, т. е. указывается объем воды, заданный за единицу времени единице площади. Однако

численно в Америке применяются два сочетания единиц, каждое из которых представлено ниже в форме отношения:

- и а)  $\frac{1 \text{ куб. фут в секунду}}{\text{на данное число акров}}$   
 б)  $\frac{\text{акро-футы (или акро-дюймы) за сезон}}{\text{на 1 акр}}$

В первом случае (а) числитель отношения (или дроби) взят за единицу, и поэтому он — величина постоянная, тогда как знаменатель — величина переменная и определяется размером орошенной площади; так, например, если 1 куб. фут/сек обслуживает 80 акров, потребление обозначается как 1 куб. фут/сек на 80 акров. Может быть и обратный порядок выражения, т. е. потребление обозначается как 80 акров на куб. фут/сек.

Во втором случае (б) числитель — переменная, а знаменатель — постоянная величина. Так, например, если за 1 сезон задано 3 акро-фута поливной воды на 1 акр, то потребление выражается как 3 акро-фута на 1 акр за сезон, что эквивалентно средней сезонной глубине поливной воды в футах. Термин *сезон* включает от 1 до 8 месяцев в зависимости от местности. При втором способе выражения иногда бывает удобнее брать потребление воды за более короткие периоды времени, например, за одну или две недели.

Считая, что 1 куб. фут/сек примерно равняется 1 акро-дюйму в час, или  $\frac{1}{12}$  акро-фута в час, удобно бывает применять уравнение (32) для перечисления одного способа выражения отношения в другое. Так как, согласно общепринятому обозначению, величина струи ( $q$ ) равняется 1 куб. фут/сек, мы можем написать следующее численное уравнение:

$$da = 1 \times t.$$

Но  $12 D = d$ , где  $D$  — средняя глубина воды в футах. Принимая месяц в 30 дней и обозначая буквой  $M$  число месяцев, следует, что  $t = 24 \times 30 \times M$  часов и что

$$D = \frac{24 \times 30 \times M}{12 a} = \frac{60 M}{a}. \quad (58)$$

Таблица 21 (стр. 240), основанная на уравнении (58), дает среднюю глубину воды в футах, которая обеспечивается током в 1 куб. фут/сек при постоянном его применении к площади от 10 до 100 акров за время от 1 до 8 месяцев.

**218. Точки измерения.** Поливная вода обычно измеряется в трех точках, а именно:

- а) в точке отвода из источника водоснабжения, обычно реки,
- б) в точке отвода из магистральных или широких боковых каналов,
- в) в точке, где вода подается ирригатору.

Для уточнения этих точек измерения в Америке принято обозначать их следующим образом:

ТАБЛИЦА 21

ПЕРЕЧИСЛЕНИЕ ПОТРЕБЛЕНИЯ ВОДЫ, ВЫРАЖЕННОГО В КУБ. ФУТАХ В СЕКУНДУ НА ОПРЕДЕЛЕННУЮ ПЛОЩАДЬ, И СРЕДНЮЮ ГЛУБИНУ В ФУТАХ ЗА ПЕРИОДЫ ВРЕМЕНИ ОТ ОДНОГО ДО ВОСЬМИ ЭТ-ДНЕВНЫХ МЕСЯЦЕВ, НА ОСНОВАНИИ УРАВНЕНИЯ  $D = 60 M/a$

| Площадь в акрах | Глубина в футах за периоды (в месяцах) |       |       |       |       |       |       |       |
|-----------------|--|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|                 | 1                                      | 2     | 3     | 4     | 5     | 6     | 7     | 8     |
| 10 . . . . .    | 6,00                                   | 12,00 | 18,00 | 24,00 | —     | —     | —     | —     |
| 20 . . . . .    | 3,00                                   | 6,00  | 9,00  | 12,00 | 15,00 | 18,00 | 21,00 | 24,00 |
| 30 . . . . .    | 2,00                                   | 4,00  | 6,00  | 8,00  | 10,00 | 12,00 | 14,00 | 16,00 |
| 40 . . . . .    | 1,50                                   | 3,00  | 4,50  | 6,00  | 7,50  | 9,00  | 10,50 | 12,00 |
| 50 . . . . .    | 1,20                                   | 2,40  | 3,60  | 4,80  | 6,00  | 7,20  | 8,40  | 9,60  |
| 60 . . . . .    | 1,00                                   | 2,00  | 3,00  | 4,00  | 5,00  | 6,00  | 7,00  | 8,00  |
| 70 . . . . .    | 0,86                                   | 1,72  | 2,57  | 3,43  | 4,28  | 5,14  | 6,00  | 6,85  |
| 80 . . . . .    | 0,75                                   | 1,50  | 2,25  | 3,00  | 3,75  | 4,50  | 5,25  | 6,00  |
| 90 . . . . .    | 0,67                                   | 1,34  | 2,00  | 2,67  | 3,33  | 4,00  | 4,78  | 5,35  |
| 100 . . . . .   | 0,60                                   | 1,20  | 1,80  | 2,40  | 3,00  | 3,60  | 4,20  | 4,80  |

а) валовое потребление (gross use) при измерении в точке отвода из источника водоснабжения,

б) боковое потребление (lateral use), когда измерение производится при отводе из бокового канала,

с) чистое потребление (net use) при измерении в точке подачи водопользователю.

Когда источник воды — озеро или пруд, или грунтовая вода, доступная накачиванию при помощи небольшой насосной установки, — расположен в пределах или около орошаемого хозяйства, имеется только одна точка измерения, служащая основанием для вычисления чистого потребления.

**219. Виды потребления.** В настоящее время валовое потребление воды в западных штатах варьирует в широких пределах от грубо расточительного до строго экономного. Очень трудно в точности определить, что в сущности является экономным потреблением, так как влияющие в данном случае факторы весьма многочисленны и разнообразны. Кроме того, потребление, экономное в одном месте, например, в редко населенной высокогорной долине, может быть расточительным в другом — густо населенном месте близ морских портовых рынков.

В настоящей главе мы рассматриваем факторы, влияющие на относительное потребление воды, и некоторые отчеты по потреблению.

**220. Факторы, влияющие на относительное потребление.** Две группы факторов влияют на количество воды, потребляемой при орошении, причем каждая из них включает еще ряд отдельных специфических факторов. Эти группы факторов следующие:

- а) биологические и химические,
- б) физические.

Для большей ясности изложения факторы, влияющие на количество потребляемой воды, сперва рассматриваются в отношении к чистому потреблению, а затем уже в отношении к валовому потреблению.

**221. Биологические и химические факторы.** В настоящее время как будто вполне установлено, что можно задержать и даже совсем предотвратить появление некоторых болезней растений путем тщательного регулирования сроков и норм полива. Например, сахарная свекла, получившая достаточное количество воды в начале лета для стимулирования быстрого роста, менее подвержена нападению блохи (white fly), чем свекла, задержанная в развитии благодаря недостатку или избытку воды. Появление хлороза ставится иногда в зависимость от неправильных поливных норм. Наблюдения последнего времени подтверждают как будто заключение, что избыточные количества воды содействуют развитию болезней картофеля и люцерны, тогда как соответствующий водный режим, напротив, задерживает это развитие.

Из наиболее важных химических факторов, влияющих на количества потребляемой воды, можно отметить следующие: а) легко доступные растворимые питательные вещества в почве; б) химический состав поливной зоны; в) род и количество солей при засолении почвы. Изобилие легко доступных питательных веществ в почве содействует продуктивному использованию воды и урожайности. Избыточные количества солей в поливной воде вынуждают иногда к обильному поливу, как средству удаления вредных растворимых солей через почву в дренажные воды. Также избыток растворимых солей в почве может потребовать применения обильных количеств поливной воды для вымывания избытка солей из почвы. Таким образом, снижается концентрация солей в почвенном растворе, а также предотвращается концентрирование солей на поверхности почвы, получающееся при непрерывном испарении.

**222. Физические факторы.** Из физических факторов, оказывающих значительное влияние на потребление воды при орошении, можно указать на следующие:

а) климатические факторы, как, например, дождь, ветер, тепло,

б) свойства почвы, а именно механический состав, проницаемость и глубина,

в) подготовка почвы и потери при проведении и подаче воды.

**223. Климатические факторы.** В гл. XIV было указано, что количество воды, необходимое для культурных растений в течение сезона, почти прямо пропорционально количеству получаемого за это же время тепла. В связи с этим длина вегетационного периода и температура являются факторами, сильно влияющими на количество и время потребляемой ежегодно воды. Относительная влажность воздуха, частота и скорость ветров вместе с количеством и временем распределения осадков также влияют на количество воды, потребляемое при орошении.

Нетрудно видеть, что количество воды, необходимое ежегодно для люцерны в засушливых юго-западных штатах, имеющих длинный вегетационный период, сухую атмосферу и малое количество осадков и в то же время высокую урожайность люцерны, значительно больше, чем количество, потребное в северо-западных штатах и в западной части Канады, где вегетационный период короче, атмосфера влажнее и осадков много, а средняя урожайность люцерны значительно ниже. Несмотря на то важное значение, которое имеют климатические факторы в определении потребностей растений в поливной воде, они почти не поддаются регулированию человеком. Но водопользователю необходимо ознакомиться с влиянием этих факторов и приспособить орошение таким образом, чтобы оно гармонировало с климатическими условиями.

**224. Свойства почвы.** Свойства почвы местностей засушливых климатов и влияние этих свойств на способность почвы удерживать поливные воды, равно как и на передвижение в ней влаги, рассмотрены в главах с VII по X. Количество потребленной воды в значительной мере зависит от ровности поверхности земли. Неровные участки трудно поливать, и обычно при попытках орошать неровные земли большие количества воды теряются через поверхностный сток или через глубинное просачивание в более углубленных местах, куда стекает избыточное количество воды при попытках в достаточной степени промочить более возвышенные части поля. Особенно трудно бывает задать равномерно поливную воду при неровной поверхности земли обычными методами напуска или напуска полосами. Применение сравнительно глубоких борозд при поливе таких земель позволяет более равномерно распределить влагу и уменьшить потери воды. Некоторые неровные земли, при условии не слишком крутых склонов, можно довольно удовлетворительно оросить при помощи метода лунок или путем применения специальных приспособлений для распределения воды, как, например, разборного трубопровода или брезентового шланга. Большое разнообразие в механическом составе, проницаемости и глубине почв обуславливает часто необходимость применения избыточных количеств воды; однообразие в этих свойствах почвы содействует продуктивному, экономному использованию влаги. Ирригатор должен часто пользоваться почвенным буром для того, чтобы хорошо ознакомиться с физическими свойствами орошаемых полей. Он не может заметно изменить механического состава или глубины почвы, но он может изменить свои приемы таким образом, чтобы приспособить их к нуждам почвы. Мелкие почвы необходимо орошать часто, задавая низкие поливные нормы, тогда как глубокие почвы следует поливать реже, задавая при этом более крупные поливные нормы.

**225. Подготовка земель.** Обычно недооценивают преимущества правильной подготовки земель для продуктивного использования оросительных вод. Так как эти преимущества уже изложены в гл. V, достаточно указать здесь, что в лучшем случае равномерное распределение воды на поверхности земли представ-

ляет трудную задачу и что необходимо предпринимать все возможное, не противоречащее правильному ведению хозяйства, для доведения потерь воды до минимума. Осторожный ирригатор сознает, что при применении различных методов орошения необходимо так регулировать воду, чтобы достаточное ее количество проникало в почву в то время, когда слой воды при напуске или струя при поливе бороздами протекает по поверхности земли. Координация поливной струи (при поливе бороздами), ширины орошаемой полосы (при поливе напуском) и длины пробега воды с проницаемостью почвы для воды требует соответствующей подготовки земель для орошения и большой тщательности при подаче полива. Важно также, чтобы подача воды ирригатору производилась такой струей, которая подходила бы к данным почвенным условиям, к применяемым методам полива и к выращиваемым культурным растениям.

**226. Потери при проведении.** Подать водопользователю в канал всю воду, отведенную из речной системы, практически неосуществимо. При самых благоприятных условиях часть воды теряется при проведении по каналам через просачивание и испарение, причем потери через испарение обычно относительно невелики. Особенно значительные количества воды через просачивание теряют пористые нагорные почвы; потери эти достигают иногда половины воды, протекающей по каналу. Там, где происходят значительные потери, обычно бывает выгодно для уменьшения их облицовать каналы бетоном или другим более дешевым материалом. Потери путем просачивания редко одинаковы на протяжении всего канала — они сильнее там, где канал проходит по хрящеватым или песчаным грунтам, сильно проницаемым для воды. Большую помощь оказывает облицовка каналов именно в этих участках.

**227. Потери при подаче воды.** Большинство более крупных оросительных систем имеет холостые выпуски и водосливы, которые уносят обратно в реки и каналы часть отведенной воды. Такие водосливы устраиваются для защиты каналов, когда количество воды внезапно увеличивается вследствие ливней или других причин.

Холостые выпуски, направленные в естественные дренажные каналы и в конечном итоге обратно в речные системы, устраиваются и для отвода части или всей воды из каналов в течение периодов низкой потребности в оросительных водах, а также во время починок проводящих сооружений. Только на очень немногих из крупных оросительных систем имеется возможность подать хозяйствам всю воду, которая отведена, за вычетом потерь по проведению.

К сожалению, имеется очень мало отчетов по потерям при подаче, учтенным отдельно от потерь при проведении, — обычно и те и другие потери приводятся вместе. Разность между количеством воды отведенным и количеством, поданным ирригатору, рассматривают как «потери при проведении и подаче». Опыт показал, что потери при проведении и подаче достигают от 23 до 72% (см. таблицу 22).

## СРЕДНЕЕ ПОТРЕБЛЕНИЕ ВОДЫ НА ФЕДЕРАЛЬНЫХ ИРРИГАЦИОННЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ

| Оросительные системы                               | Орошенная площадь в акрах | Остант площадь, орошенная на каналов, в акрах | Длина каналов и боковых оросителей в милях | Длина каналов и боковых оросителей в акрах | Преобладающий тип каналов | Получено на фермы в акро-футах на акр в |         |      |        |      |      |      |        |          |         |        |         |
|--|---------------------------|---|--|--|---------------------------|---|---------|------|--------|------|------|------|--------|----------|---------|--------|---------|
|  |                           |   |  |  |                           | Январь                                  | Февраль | Март | Апрель | Май  | Июнь | Июль | Август | Сентябрь | Октябрь | Ноябрь | Декабрь |
| 1. Belle Fourche . . . . .                         | 45 164                    | 74 569  | 547  | 58   | Травяной                  | 0,04                                    | 0,06    | 0,06 | 0,16   | 0,75 | 0,75 | 0,89 | 0,71   | 0,29     | 0,04    | 0,04   | 1,22    |
| 2. Boise . . . . .                                 | 145 116                   | 63 667  | 1 046                                      | 37   | Лесной                    | 0,04                                    | 0,06    | 0,06 | 0,16   | 0,75 | 0,75 | 0,89 | 0,71   | 0,29     | 0,04    | 0,04   | 3,60    |
| 3. Carlsbad . . . . .                              | 22 546                    | 25 000  | 45   | 11   | Средний                   | 0,04                                    | 0,06    | 0,06 | 0,16   | 0,75 | 0,75 | 0,89 | 0,71   | 0,29     | 0,04    | 0,04   | 2,36    |
| 4. Grand Valley . . . . .                          | 17 139                    | 21 000  | 490  | 7  | Травяной                  | 0,04                                    | 0,06    | 0,06 | 0,16   | 0,75 | 0,75 | 0,89 | 0,71   | 0,29     | 0,04    | 0,04   | 3,61    |
| 5. Huntley . . . . .                               | 10 409                    | 32 540  | 232  | 4  | Травяной                  | 0,04                                    | 0,06    | 0,06 | 0,16   | 0,75 | 0,75 | 0,89 | 0,71   | 0,29     | 0,04    | 0,04   | 1,39    |
| 6. King Hill . . . . .                             | 6 46                      | 16 893  | 96   | 4  | Очень легкий              | 0,04                                    | 0,06    | 0,06 | 0,16   | 0,75 | 0,75 | 0,89 | 0,71   | 0,29     | 0,04    | 0,04   | 7,01    |
| 7. Klamath . . . . .                               | 43 825                    | 62 395  | 240  | 2  | Средний                   | 0,04                                    | 0,06    | 0,06 | 0,16   | 0,75 | 0,75 | 0,89 | 0,71   | 0,29     | 0,04    | 0,04   | 1,43    |
| 8. Lower Yellowstone . . . . .                     | 17 54                     | 43 272  | 2 2  | 2  | Средний                   | 0,04                                    | 0,06    | 0,06 | 0,16   | 0,75 | 0,75 | 0,89 | 0,71   | 0,29     | 0,04    | 0,04   | 1,31    |
| 9. Milk River . . . . .                            | 15 793                    | 63 480  | 275  | 2  | Травяной                  | 0,04                                    | 0,06    | 0,06 | 0,16   | 0,75 | 0,75 | 0,89 | 0,71   | 0,29     | 0,04    | 0,04   | 0,65    |
| 10. Minidoka-South Side Pumping Division . . . . . | 44 945                    | 48 890  | 275  | 2  | Средний                   | 0,04                                    | 0,06    | 0,06 | 0,16   | 0,75 | 0,75 | 0,89 | 0,71   | 0,29     | 0,04    | 0,04   | 2,54    |
| 11. Newlands . . . . .                             | 38 848                    | 65 277  | 319  | 2  | Средний                   | 0,04                                    | 0,06    | 0,06 | 0,16   | 0,75 | 0,75 | 0,89 | 0,71   | 0,29     | 0,04    | 0,04   | 2,84    |
| 12. North Platte . . . . .                         | 17 694                    | 161 870                                       | 1 54                                       | 39   | Средний                   | 0,04                                    | 0,06    | 0,06 | 0,16   | 0,75 | 0,75 | 0,89 | 0,71   | 0,29     | 0,04    | 0,04   | 2,69    |
| 13. Okanogan . . . . .                             | 5 299                     | 7 330   | 68   | 39   | Лесной                    | 0,04                                    | 0,06    | 0,06 | 0,16   | 0,75 | 0,75 | 0,89 | 0,71   | 0,29     | 0,04    | 0,04   | 3,17    |
| 14. Orland . . . . .                               | 14 54                     | 25 630  | 435  | 80   | Средний                   | 0,04                                    | 0,06    | 0,06 | 0,16   | 0,75 | 0,75 | 0,89 | 0,71   | 0,29     | 0,04    | 0,04   | 2,19    |
| 15. Rio Grande . . . . .                           | 93 847                    | 126 303                                       | 496  | 10   | Травяной                  | 0,04                                    | 0,06    | 0,06 | 0,16   | 0,75 | 0,75 | 0,89 | 0,71   | 0,29     | 0,04    | 0,04   | 2,33    |
| 16. Choshone; Franine Division . . . . .           | 7 983                     | 21 663  | 166  | 4  | Средний                   | 0,04                                    | 0,06    | 0,06 | 0,16   | 0,75 | 0,75 | 0,89 | 0,71   | 0,29     | 0,04    | 0,04   | 1,54    |
| 17. Garland Division . . . . .                     | 32 380                    | 42 000  | 279  | 4  | Средний                   | 0,04                                    | 0,06    | 0,06 | 0,16   | 0,75 | 0,75 | 0,89 | 0,71   | 0,29     | 0,04    | 0,04   | 1,28    |
| 18. Sun River; Fort Shaw Division . . . . .        | 7 640                     | 43 902  | 99   | 4  | Травяной                  | 0,04                                    | 0,06    | 0,06 | 0,16   | 0,75 | 0,75 | 0,89 | 0,71   | 0,29     | 0,04    | 0,04   | 5,02    |
| 19. Greenfields Division . . . . .                 | 9 897                     | 41 975  | 493  | 157  | Средний                   | 0,04                                    | 0,06    | 0,06 | 0,16   | 0,75 | 0,75 | 0,89 | 0,71   | 0,29     | 0,04    | 0,04   | 5,76    |
| 20. Unadilla . . . . .                             | 10 97                     | 24 587  | 173  | 11   | Средний                   | 0,04                                    | 0,06    | 0,06 | 0,16   | 0,75 | 0,75 | 0,89 | 0,71   | 0,29     | 0,04    | 0,04   | 3,29    |
| 21. Uncompagne . . . . .                           | 61 178                    | 95 292  | 471  | 125  | Средний                   | 0,04                                    | 0,06    | 0,06 | 0,16   | 0,75 | 0,75 | 0,89 | 0,71   | 0,29     | 0,04    | 0,04   | 2,51    |
| 22. Yakima; Sunnyside Division . . . . .           | 91 723                    | 102 464                                       | 602  | 85   | Средний                   | 0,04                                    | 0,06    | 0,06 | 0,16   | 0,75 | 0,75 | 0,89 | 0,71   | 0,29     | 0,04    | 0,04   | 2,51    |
| 23. Tieton Division . . . . .                      | 27 67                     | 31 000  | 335  | 85   | Средний                   | 0,04                                    | 0,06    | 0,06 | 0,16   | 0,75 | 0,75 | 0,89 | 0,71   | 0,29     | 0,04    | 0,04   | 3,01    |
| 24. Yuma . . . . .                                 | 51 950                    | 61 865  | 336  | 85   | Средний                   | 0,04                                    | 0,06    | 0,06 | 0,16   | 0,75 | 0,75 | 0,89 | 0,71   | 0,29     | 0,04    | 0,04   | 3,01    |

| Оригинальная система                     | Осадки за вегетационный период в футах | Подземная вода в футах | Осадки за вегетационный период в футах | Осадки на период вегетационному, в футах | Высота системы над уровнем моря в футах | Средняя температура в летних месяцах в градусах Фаренгейта | % площади под культурными   |          |        |           | Потери в каналах и боковых орнаментальных | Сбор | Площадь на ферме |
|--|--|------------------------|--|--|---|--|-----------------------------|----------|--------|-----------|---|------|------------------|
|  |  |                        |  |  |   |  | Людерец, пшеница и пастбища | Зерновые | Прочие | Древесина |   |      |                  |
| 1. Belle Fourche                         | 0,86                                   | 2,08                   | 0,48                                   | 2 800                                    | 65                                      | 62   | 22                          | 16       | ..     | 83        | 52  |      |                  |
| 2. Bolse                                 | 0,38                                   | 3,08                   | 0,43                                   | 3 100                                    | 62                                      | 53   | 31                          | 13       | 3      | 28        | 79  |      |                  |
| 3. Carlsbad                              | 0,85                                   | 3,22                   | 0,65                                   | 3 100                                    | 63                                      | 53   | 4                           | 13       | ..     | 48        | 45  |      |                  |
| 4. Grand Valley                          | 0,48                                   | 4,00                   | 0,27                                   | 4 700                                    | 65                                      | 35   | 24                          | 33       | 7      | 33        | 32  |      |                  |
| 5. Huntley                               | 0,63                                   | 4,02                   | 0,37                                   | 3 000                                    | 64                                      | 42   | 34                          | 24       | ..     | 30        | 34  |      |                  |
| 6. King Hill                             | 0,35                                   | 7,35                   | 0,41                                   | 2 750                                    | 64                                      | 75   | 7                           | 11       | 6      | ..        | 53  |      |                  |
| 7. Klamath                               | 0,18                                   | 1,51                   | 0,68                                   | 4 100                                    | 60                                      | 77   | 21                          | 2        | ..     | 39        | 52  |      |                  |
| 8. Lower Yellowstone                     | 0,71                                   | 2,05                   | 0,33                                   | 1 900                                    | 64                                      | 45   | 33                          | 22       | ..     | 44        | 35  |      |                  |
| 9. Milk River                            | 0,91                                   | 1,56                   | 0,18                                   | 2 200                                    | 58                                      | 73   | 22                          | 5        | ..     | 35        | 19  |      |                  |
| 10. Minidoka-South Side Pumping Division | 0,53                                   | 3,07                   | 0,32                                   | 4 200                                    | 59                                      | 50   | 28                          | 22       | ..     | 39        | 58  |      |                  |
| 11. Newlands                             | 0,25                                   | 3,13                   | 0,45                                   | 4 000                                    | 61                                      | 85   | 11                          | 4        | ..     | 41        | 45  |      |                  |
| 12. North Flinto                         | 0,81                                   | 3,04                   | 0,47                                   | 4 100                                    | 66                                      | 35   | 26                          | 38       | ..     | 43        | 49  |      |                  |
| 13. Okanogan                             | 0,42                                   | 3,02                   | 0,51                                   | 1 000                                    | 63                                      | 0  | ..                          | 3        | 88     | 23        | 71  |      |                  |
| 14. Grand                                | 0,37                                   | 3,55                   | 1,02                                   | 2 250                                    | 70                                      | 53   | 5                           | 19       | 23     | 27        | 61  |      |                  |
| 15. Choishom; Franille Division          | 0,30                                   | 3,40                   | 0,06                                   | 3 700                                    | 66                                      | 37   | 8                           | 53       | 2      | 30        | 39  |      |                  |
| 16. Grand                                | 0,60                                   | 3,40                   | 0,11                                   | 4 150                                    | 69                                      | 72   | 11                          | 11       | ..     | 42        | 57  |      |                  |
| 17. Choishom; Franille Division          | 0,33                                   | 2,71                   | 0,09                                   | 4 000                                    | 60                                      | 50   | 28                          | 13       | ..     | 38        | 38  |      |                  |
| 18. Sun River; Fort Shaw Division        | 0,63                                   | 3,14                   | 0,23                                   | 3 700                                    | 58                                      | 75   | 20                          | 5        | ..     | 31        | 25  |      |                  |
| 19. Greenfields Division                 | 0,65                                   | 2,43                   | 0,28                                   | 3 700                                    | 57                                      | 23   | 75                          | 2        | ..     | 31        | 25  |      |                  |
| 20. Umatilla                             | 0,55                                   | 5,37                   | 0,40                                   | 4 700                                    | 60                                      | 85   | 6                           | 8        | ..     | 32        | 18  |      |                  |
| 21. Uncompagne                           | 0,21                                   | 6,31                   | 0,29                                   | 5 500                                    | 61                                      | 61   | 25                          | 25       | ..     | 13        | 50  |      |                  |
| 22. Yakima; Sunnyside Division           | 0,41                                   | 3,50                   | 0,21                                   | 5 000                                    | 63                                      | 47   | 7                           | 10       | 45     | 23        | 77  |      |                  |
| 23. Tieton Division                      | 0,18                                   | 3,67                   | 0,44                                   | 1 500                                    | 62                                      | 63   | 41                          | 11       | ..     | 33        | 71  |      |                  |
| 24. Yuma                                 | 0,33                                   | 3,51                   | 0,33                                   | 1 700                                    | 72                                      | 39   | 3                           | 58       | ..     | 11        | 58  |      |                  |

1924 и 1926 гг. пропущены при измерении средней влажности подогретой воды.

1 Данные для Umatilla и Grand Valley относятся к годам 1921—1927.

2 Данные для King Hill относятся к годам 1921, 1923 и 1925. Другие годы, начиная с 1917 г., выпущены вследствие недостатка воды.

3 Данные для Okanogan относятся к годам 1918, 1921 и 1924 вследствие сильных колебаний воды.

4 В среднем для Grand Valley относятся к годам 1919—1926.

5 Данные для Rio Grande относятся к годам 1922—1926.

6 Данные для Shoshone Franille относятся к годам 1922—1926.

7 Потери воды при пропуске ее по магистральным участкам Grand Valley выпущены в потерю участка Garland.

8 От 1919 по 1926 гг. включительно.

9 Данные относятся к годам от 1917 до 1925, за исключением случаев, отмеченных в примечаниях.

**228. Отчеты о потребляемой воде.** Отчеты за длительные периоды о количестве воды, потребленной при орошении, имеют существенное значение. Тем не менее, до сего времени сравнительно еще очень мало опубликовано таких отчетов, на которые можно было бы положиться. Для освещения широких колебаний в фактическом потреблении воды в разных местностях на различных оросительных системах приводится таблица 22.

Данные, приведенные в этой таблице, составленной Деблером (Debler), показывают количество воды, поданное водопользователям 24 оросительных систем бюро мелиорации США. Таблица включает отчет о площади, орошенной каждой системой, о длине каналов, типах почв, о месячной и сезонной подаче воды и другие ценные сведения. Сезонная подача воды колеблется примерно от 1 фута до 7 футов (от 300 мм до 2100 мм). Возможно, что со временем процент общих потерь в каналах и через холостые выпуски будет уменьшаться и, напротив, процент поданной потребителям воды увеличиваться.

## ГЛАВА XVII

### ПРОДУКТИВНОСТЬ ОРОШЕНИЯ

Продуктивность в том смысле, в котором она применяется здесь, представляет в основном физическое понятие. В гидравлике и в механике продуктивность или коэффициент полезного действия является отношением между подачей и потреблением либо энергии, либо силы. За последнее время гидравлические моторы и насосы настолько усовершенствованы в конструкции, сооружении и в работе, что их продуктивность доведена до степени, превышающей самые оптимистические ожидания инженеров. До сих пор измерение продуктивности орошения — сравнительно новая задача, вероятно, вследствие трудностей, связанных с производством таких измерений. На важности продуктивного использования воды настаивал Брайгэм Йонг (Brigham Young) в своем обращении к колонистам-мормонам (штат Юта) 8 июня 1856 г.:

«По вопросу об орошении я отважусь сказать, — говорил он, — что половина воды пропадает зря; вместо того, чтобы быть заданной там и тогда, когда она необходима, она протекает где попало, и может быть только половина ее достигает завядающих растений. Если бы люди прилагали немного больше стараний при подготовке шлюзов на каналах и облицовке их краев там, где это требуется для экономного проведения воды, они бы получили значительные выгоды».

Потребность в возрастающей продуктивности орошения оправдывает тщательное рассмотрение факторов, влияющих на нее, хотя бы некоторые из них и не так легко поддавались измерению. Высокая продуктивность орошения увеличивает вероятность, хотя и не дает полной гарантии более экономного использования воды. Экономное использование воды является функцией потребности воды и урожая; продуктивность орошения в применяемом здесь смысле не включает ни потребность воды, ни урожай. В настоящей главе определяются и рассматриваются взаимоотношения продуктивности подачи воды, ее проведения и расходования при поливах, а также орошения в целом.

**229. Продуктивность полива.** В предшествующих главах были рассмотрены продуктивность транспирации ( $E_t$ ) и продуктивность расхода на потребление ( $E_p$ ). Было указано, что продуктивность транспирации связана с процессами роста растений и поэтому представляет по существу биологическое понятие. Про-

дуктивность же полива, так же как и продуктивность расхода на потребление, — физическое понятие. Ее можно определить как отношение между количеством воды, накопленной в корнеобитаемой зоне и в конечном итоге потребленной растением (транспирированное или испарившееся или и то и другое вместе), и количеством воды, поданным в хозяйство.

Пусть  $E_a$  — продуктивность полива,  
 $W_f$  — поливная вода, поданная в хозяйство,  
 $W_s$  — поливная вода, накопленная в корнеобитаемой зоне почвы.

Тогда, согласно приведенному выше определению

$$E_a = W_s / W_f \quad (59)$$

Обычные источники потерь поливной воды в хозяйстве следующие:

$R_f$  — поверхностный сток в хозяйстве,  
 $D_f$  — просачивание вглубь на почвах хозяйства.

Пренебрегая потерями на испарение во время полива или сейчас же после него, очевидно, что

$$W_f = W_s + R_f + D_f \quad (60)$$

поэтому

$$E_a = \frac{W_f - (R_f + D_f)}{W_f} \quad (61)$$

Продуктивность полива ( $E_a$ ) широко колеблется в зависимости от многих изменчивых факторов. Нежные поверхности земли, неглубокие почвы, под которыми залегают пронизываемые хрящеватые подпочвы, малая струя поливной воды, отсутствие примотра во время полива, длинные пробеги поливной воды, избыточные нормы полива — все эти факторы содействуют увеличению  $D_f$  и уменьшению  $E_a$ . С другой стороны, применение высоких напоров, плохая подготовка полей, плотные, непроницаемые почвы, сильный уклон поверхности, а также и отсутствие примотра тоже содействуют увеличению  $R_f$  и уменьшению  $E_a$ .

Оценивать величину  $E_a$  можно лишь предположительно; но, вероятно, не будет особого преувеличения, если сказать, что в некоторых местностях она спускается до 20% и что в сравнительно благоприятных условиях она редко превышает 75%. В общем, несомненно, имеются большие возможности увеличить  $E_a$ , не выходя за пределы экономических возможностей.

**230. Продуктивность проведения и подачи воды.** Обычно неосуществимо провести оросительную воду из ее первоисточника на орошаемые хозяйства без некоторых потерь через течь в шлюзах, просачивание в почву, сток через холостые каналы и выпуски и, наконец, через испарение.

Пусть  $E_c$  — продуктивность проведения и подачи воды,  
 $W_r$  — вода, отведенная из реки в оросительный канал,  
 $\Sigma W_f$  — сумма количеств воды, поданной хозяйствам, обслуживаемым каналом.

Тогда согласно выражению:

$$E_c = \frac{\Sigma W_f}{W_r} \quad (62)$$

продуктивность проведения и подачи ( $E_c$ ) определяется как отношение суммы количеств воды, поданной всем хозяйствам, к количеству воды, отведенной из реки или другого водного источника.

Временами неизбежно случаются также потери из каналов и оросителей в связи с тем, что возникают условия, мешающие многим ирригаторам взять всю доступную воду из системы каналов. Эти потери относятся к потерям подачи. Прежние измерения департамента земледелия США обнаруживают колебания продуктивности проведения и подачи ( $E_c$ ) от 30 до 85% при средней около 60%. Более поздние измерения бюро мелиорации США на 24 из его оросительных систем показали, что  $E_c$  колеблется в пределах от 28 до 77%, при средней около 50% (см. таблицу 22).

Несомненно верно, что потери при проведении и подаче воды одной системы каналов в целом ряде долин просачиваются обратно в реку и позднее отводятся ниже по реке другими системами каналов, так что низкие значения  $E_c$  в действительности менее существенны, чем это может показаться с первого взгляда. Но, несмотря на восстановление в некоторых местностях этих потерянных вод на нижележащих землях, тем не менее, следует, как общее правило, стремиться уменьшить до минимума потери при проведении и подаче и тем самым увеличить  $E_c$ .

**231. Продуктивность орошения.** Отведение воды из естественных источников для орошения имеет целью получить максимальный возможный урожай. Уменьшение потерь и вытекающее из этого увеличение продуктивности потребления всяких естественных источников, включая и оросительную воду, как общее правило, приводят к экономному использованию оросительных вод. Продуктивность орошения может быть значительно повышена против современного уровня содействием уменьшению потерь при проведении и подаче воды, а также снижением потерь от поверхностного стока, просачивания вглубь и испарения. При данном количестве отведенной из реки воды ( $W_r$ ), чем большая ее часть запасается в почве орошаемого хозяйства и удержится здесь до потребления ее растениями, тем больше будет общий урожай. Выражение продуктивность орошения означает отношение количества воды, транспирированной растениями орошаемого хозяйства или оросительной системы, к воде, отведенной из реки или другого естественного источника воды по каналу или каналам фермы или хозяйства.

Пусть  $E_i$  — продуктивность орошения.

$W_i$  — поливная вода, транспирированная растениями орошаемого хозяйства или системы в течение вегетационного периода,

$W_r$  — вода, отведенная из реки или другого естественного источника в каналы хозяйства или системы в течение этого же периода,

тогда

$$E_i = W_i / W_r. \quad (63)$$

Очевидно, что продуктивность орошения ( $E_i$ ) зависит от продуктивности проведения и подачи ( $E_c$ ) от продуктивности полива ( $E_a$ ) и от продуктивности расхода на потребление ( $E_n$ ). По мере увеличения одной или нескольких из величин  $E_c$ ,  $E_a$  и  $E_n$  возрастает и  $E_i$ . Само собой понятно, что в большинстве орошаемых районов можно существенно увеличить продуктивность орошения.

Продуктивность орошения на большинстве оросительных систем довольно низка, часто менее одной трети, вследствие многих источников потерь поливной воды, которые происходят от времени и места ее отвода из рек и до времени и места ее накопления в почве в форме капиллярной влаги, легко доступной корням растений.

Для примера сравнительно хорошей практики орошения предположим, что 40% отведенной воды потеряно при проведении и подаче, 30% потеряно путем поверхностного стока и просачивания вглубь, а 20% накопленной в почве воды потеряно через испарение.

Для примера предположим, что 60% отведенной воды потеряно при проведении и подаче, 50% поданной воды просачивания вглубь, а 20% накопленной в почве воды потеряно через испарение, то

продуктивность орошения предположим, что 40% отведенной воды потеряно при проведении и подаче, 30% потеряно путем поверхностного стока и просачивания вглубь, а 20% накопленной в почве воды потеряно через испарение.

$$\begin{aligned} W_r &= 0,4 W_r, \\ W_c &= 0,5 W_r, \\ W_i &= 0,6 W_r, \\ E_i &= W_i / W_r = 0,12. \end{aligned}$$

Насколько автору известно, отчетов по тщательному измерению  $E_i$  на больших ирригационных системах не имеется. Однако существует достаточное количество измерений  $E_c$  и  $E_a$  для того, чтобы предположить, что приведенные выше значения  $E_i$  действительно приблизительно соответствуют существующим высшему и низшему пределам продуктивности орошения. Если эти расчеты, из которых видно, что выращиваемыми растениями

испаряется только от одной десятой до одной трети отведенной для орошения воды, хотя бы приблизительно верно, то очевидно, что вопрос об увеличении продуктивности орошения заслуживает самого серьезного внимания.

Несомненно, имеются широкие колебания в различных приведенных здесь величинах продуктивности, зависящие от условий орошения. Например, когда вода добывается накачиванием и проводится на небольшие расстояния по бетонным или другим трубам для орошения таких ценных культур, как, например, цитрусовых, тогда  $E_c$  высоко — от 85 до 95%. При пользовании насосной установкой и добыче воды из подземных источников или из рек, прудов или каналов путем накачивания непосредственно на земли хозяйства,  $E_c$  приближается к 100%. Подобные же примеры могли бы быть приведены для иллюстрации высоких  $E_i$  и  $E_r$ .

## ОРОШЕНИЕ ЗЕРНОВЫХ ЗЛАКОВ

Практика орошения определяется в значительной степени тремя условиями: климатом данной местности, обрабатываемой почвой и выращиваемыми растениями. В предшествующих главах главное внимание уделялось влиянию на практику орошения климатических и почвенных условий. Количества воды, правильно задаваемые за один полив, величина струи, длина и ширина поливаемого данной струей участка и частота поливов — все эти моменты находятся в значительной степени в зависимости от почвенных условий, но до известной степени они связаны и с выращиваемыми растениями. Выбор методов полива напуском, по бороздам или дождеванием, хотя и не целиком, но в значительной степени определяется требованиями культурных растений.

При выборе методов подземного орошения преобладающее влияние оказывают почвенные условия.

В настоящей главе рассматриваются важнейшие зерновые злаки, выращиваемые в западных штатах, а именно: пшеница, овес, ячмень, рожь и кукуруза. Эти культуры в некоторых засушливых западных штатах выращиваются как при орошении, так и при сухом земледелии. Более возвышенные земли некоторых орошаемых долин западных штатов, расположенные выше оросительных каналов, дают высокие урожаи пшеницы, ячменя и ржи без орошения, при среднем годовом количестве осадков в 15—20" (370—500 мм). Неглубокие, хрящеватые и грубо-песчаные почвы непригодны для сухого земледелия. В более засушливых районах западных штатов, за немногими исключениями, зерновые злаки выращиваются, главным образом, при орошении.

**232. Методы полива зерновых злаков.** Хлебные злаки орошаются «диким» напуском, напуском по полосам и инфильтрацией. Метод затопления площадками также применяется кое-где на хорошо проницаемых почвах с ровным рельефом.

Зерновые злаки редко выращиваются из года в год на одной и той же орошаемой площади; они обычно входят в общий севооборот. На новых оросительных системах культура зерновых иногда является основной, но опыт показал желательность введения в севооборот кормовых и других возделываемых растений, как только новые земли будут достаточно подготов-

лены для них. Метод полива зерновых злаков избирается в соответствии с методом полива, применяемого для других растений, входящих в севооборот. Например, если земля тщательно подготовлена для полива люцерны напуском полос, зерновые поливаются тем же методом. Или, если принято орошать люцерну по мелким бороздам, можно применять тот же метод и для полива зерновых.

Относительная обеспеченность водоснабжения также является фактором, определяющим выбор метода полива зерновых. Там, где вода в избытке, особенно в ранний период летнего сезона, когда принято орошать зерновые, пользуются преимущественно методом дикого напуска. С другой стороны, там, где водоснабжение ограничено, зерновые поливаются или по бороздам или напуском полос.

**233. Сроки полива зерновых.** Зерновые злаки — сравнительно рано созревающие культуры. Многолетний опыт в межгорных штатах США показал, что зерновые злаки могут быть успешно выращены при даче поливов в мае и июне — месяцы весеннего разлива рек. На мелких почвах, имеющих малую водозапасающую емкость для удержания поливных вод, полив зерновых необходим в апреле, а также и в июле. В более возвышенных долинах, где вегетационный период начинается и кончается позже, зерновые злаки орошаются большей частью в июле и в августе. Рис. 111 показывает, что пшеница и овес, выращиваемые в долине Кап штата Юга, нуждаются после начала июля в сравнительно небольшом количестве поливной воды.

В местностях, где мало зимних и весенних осадков, очень важно основательно полить почву до посева зерновых злаков, чтобы запasti в ней достаточно влаги для успешного роста растений на первых фазах развития. Большинство почв, на которых возделываются зерновые злаки, дают корку и образуют трещины после первого полива, особенно если они не затенены. Образование корки и растрескивание почвы обычно вредны для молодых растений. Трудно также избежать вредного размывания почвы, когда полив производится очень рано и растения настолько малы, что не успели еще своими корнями придать почве некоторую связность. Молодые нежные растеньица легко погибают даже при незначительном размывании почвы.

Опыты Гарриса в Юге обнаруживают ясные преимущества полива зерновых злаков в определенные стадии развития.

Методику этих опытов приводим ниже.

**234 Сроки полива пшеницы.** Гаррис поливал пшеницу на четырех фазах развития, а именно:

1) в фазу полного развития 5 листочков, когда растеньица достигли от 15 до 20 см высоты;

2) перед началом колошения при вздутии влагалища;

3) в фазу цветения, когда большинство растений зацвело;

4) в фазе молочной спелости.

Поливная норма равнялась 5" (1 250 м<sup>3</sup> на га). Почвы опытной фермы — глубокие суглинки, сравнительно однообразные по

механическому составу, большой влагоемкости и высокой производительности при соответствующем уходе. Результаты четырех лет испытания с 1912 по 1916 г. представлены на рис. 122. В нижней половине заштрихованными площадками указаны фазы, в которые были заданы поливы, в верхней половине — черными столбиками представлен урожай зерна, заштрихованными — урожай соломы. Цифры слева направо показывают общую оросительную норму каждой схемы. Заслуживает внимания, что делянка, не получившая никакого полива, тем не менее дала около 38 бушелей на акр (27,9 ц на га) за счет влаги в почве, накопленной за зиму и выпавшей в форме осадков в течение вегетационного периода. Среднее количество осадков за год за 4-летний период равнялось 17,8" (445 мм). Невыгодность полива

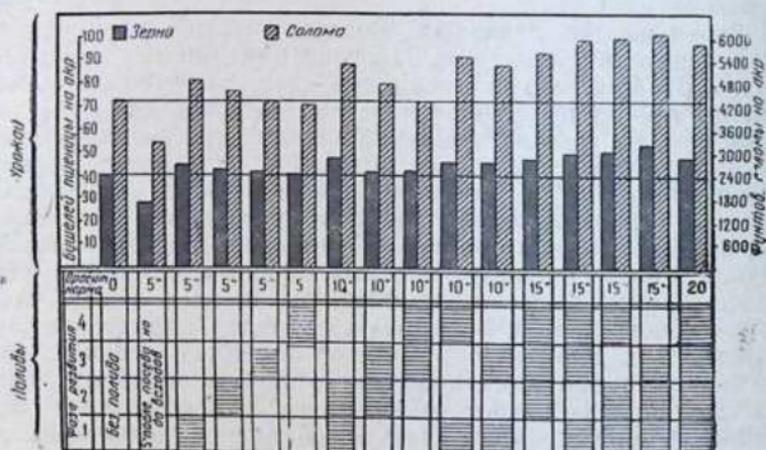


Рис. 122. Урожай зерна и соломы пшеницы на делянках, получивших на разных фазах развития различные количества воды (из Utah Agr. Exp. Sta. Bull. 146).

в 5" (1250 м<sup>3</sup> на 1 га), заданного до всходов, видно из того, что делянка, орошенная таким образом, дала меньший урожай не только по сравнению с делянками всех остальных сроков, но и по сравнению с делянкой, не получившей никакого полива. Далее рисунок совершенно ясно показывает преимущества полива на более ранних стадиях развития. Это наблюдается на всех трех оросительных нормах в 5, 10 и 15" (1250, 2500 и 3750 м<sup>3</sup> на га). Также необходимо отметить, что 15" (3750 м<sup>3</sup>), данные в три полива на первых трех фазах развития, дали больший урожай, чем 20" (5000 м<sup>3</sup>), заданные по 5" в четыре полива.

**235. Сроки полива овса.** Результаты трехлетней экспериментальной работы с 1916 г. по 1918 г. на опытной станции штата Юта по орошению овса сведены на рис. 123. Фазы развития, в которые производилось орошение, те же, что и для пшеницы.

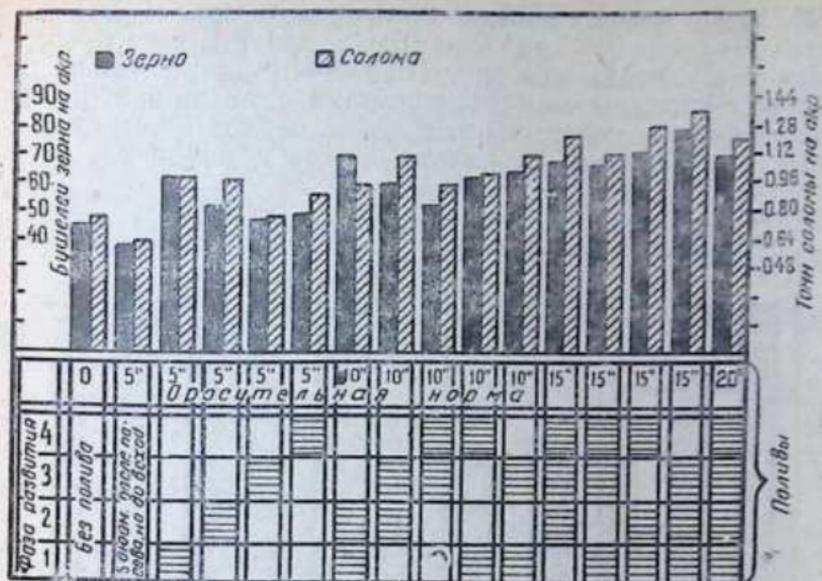


Рис. 123. Урожай зерна и соломы овса на делянках, получивших на разных фазах развития различные количества воды (из Utah Agr. Exp. Sta. Bull. 167).

Среднее количество осадков за год равнялось 18,1" (452 мм). Внимательное рассмотрение рис. 123 обнаруживает, так же как и для пшеницы, важное значение полива на ранних фазах развития.

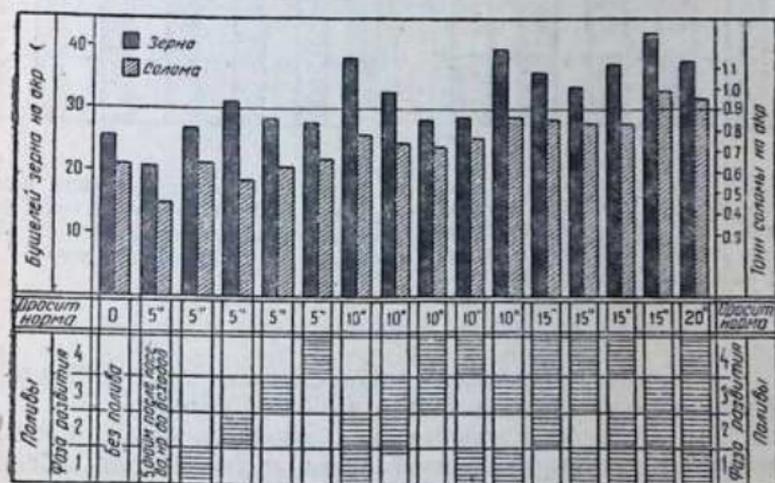


Рис. 124. Урожай зерна и соломы ячменя на делянках, получивших на разных фазах развития различные количества воды (из Utah Agr. Exp. Sta. Bull. 178).

236. Сроки полива ячменя. В течение 3 лет с 1919 г. по 1921 г. Гаррис и Питтман (Harris and Pittman) проводили опыты по орошению ячменя на опытной станции штата Юта, сходные с приведенными выше опытами с пшеницей и овсом. Среднее годовое количество осадков за период испытаний равнялось 17,2" (430 мм). Результаты опытов с ячменем представ-

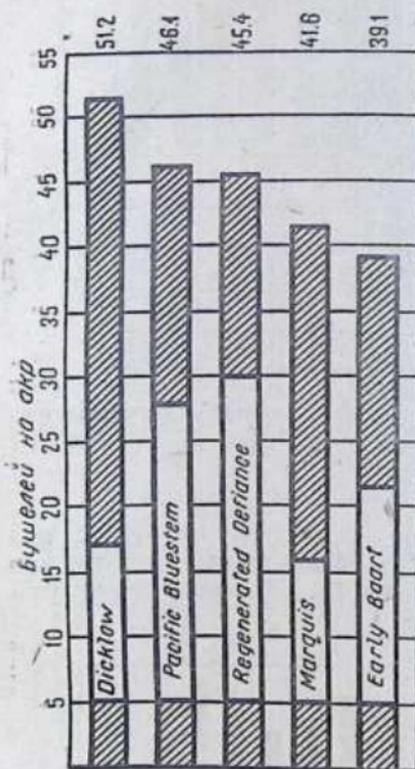


Рис. 125. Средние урожаи наиболее урожайных сортов яровой пшеницы на Абердинской подстанции с 1913 по 1918 г. в бушелях на акр. (Рисунки 125—127—из U. S. Dept. Agr. Farmers' Bull. 1103).

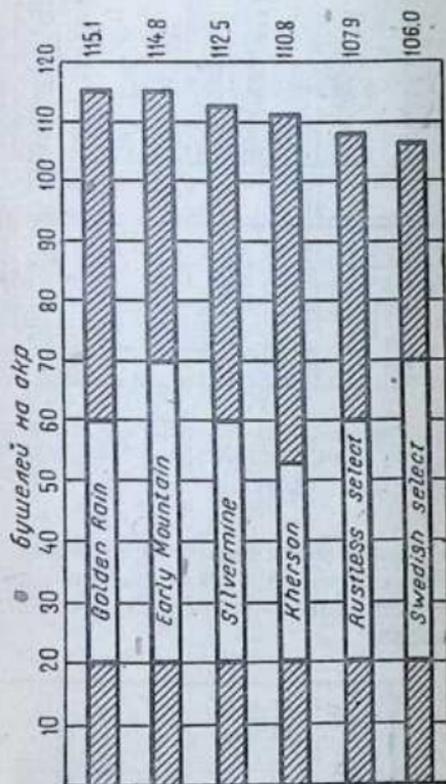


Рис. 126. Средние урожаи важнейших сортов овса на Абердинской подстанции с 1913 по 1918 г. в бушелях на акр.

лены на рис. 124. Здесь также наблюдается, что поливы в ранние фазы развития дали наиболее высокие урожаи.

В гл. XIII нами уже указывалась необходимость постоянно поддерживать достаточный запас влаги в почве для обеспечения нужд растущих растений. В приведенных выше опытах по орошению пшеницы, овса и ячменя на станции Юта не производилось определений почвенной влажности, поэтому нельзя сказать с определенностью, падала ли влажность почвы на дея-

ках, давших низкие урожаи, до величин близких или лежащих ниже коэффициента завядания. Климатических и почвенных факторов такое множество и они так изменчивы, что необходима большая осторожность при перенесении результатов опытов, проведенных на данной почве определенной местности, к другим почвам того же района или других местностей.

После нескольких лет изучения культуры зерновых злаков на Абердинской подстанции в штате Айдахо, Эйчер (Aicher)

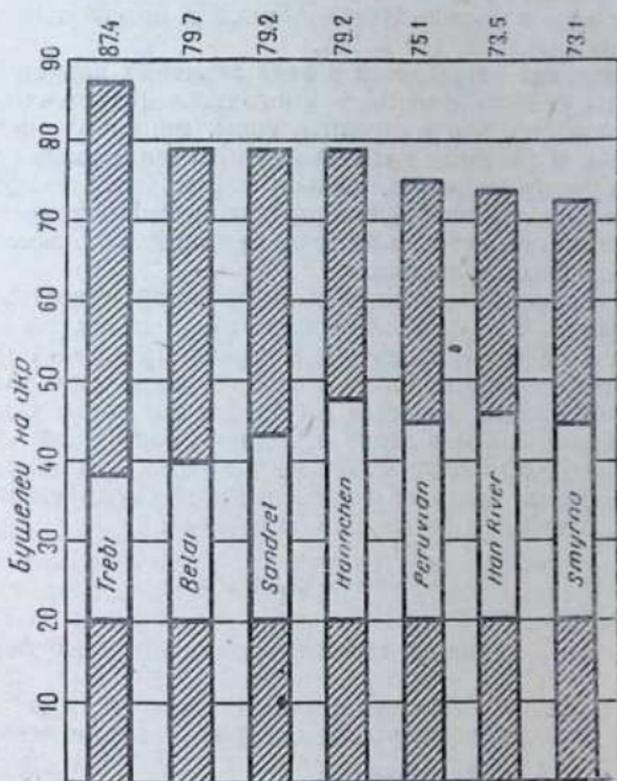


Рис. 127. Средние урожаи важнейших сортов ячменя на Абердинской подстанции с 1913 г. по 1918 г. в бушелях на акр.

пришел к следующему выводу относительно сроков полива: «Зерновые злаки следует поливать тогда, когда растения нуждаются в воде, независимо от фазы развития. Твердо установленные правила полива в культуре тех или иных растений легко вводят в заблуждение, и попытки жестко следовать им часто приводят к бедственным результатам. Условия периода вегетации из года в год варьируют, а вместе с тем изменяется и время потребности в поливе. Летние осадки часто обманчивы, кроме случаев, когда они превышают  $\frac{1}{2}$ " (12 мм). Именно в силу этого каждый год происходят значительные потери на

орошаемых участках. На юге штата Айдаго, где среднее количество осадков в течение периода вегетации равняется 4,27" (106 мм), было бы ошибкой придавать слишком большое значение небольшим дождям. Смачивание одной лишь поверхности почвы имеет малое значение для урожая, и если почва не промочена на значительную глубину, необходимо произвести полив, не считаясь с небольшим увлажнением в результате мелких дождей».

Урожай различных сортов пшеницы, овса и ячменя, полученных Эйчером в долине Змеиной реки в штате Айдаго, представлены на рис. 125, 126 и 127.

**237. Вычисление потребности в воде зерновых злаков.** Как уже указывалось раньше, работами многочисленных исследователей было установлено, что количество воды, испарившейся и транспирированной разными культурными растениями на продукцию единицы сухого вещества, сильно варьирует. Не существует какой-либо определенной величины испарительно-транспирационного коэффициента, которая была бы применима ко всем изменчивым естественным условиям.

Однако для иллюстрации хода вычислений предположим, что для продукции 1 ц сухого вещества зерна пшеницы потребовалось 1 200 ц воды на испарение и транспирацию. 100 весовых единиц зерна пшеницы, взятой из-под молотилки, содержали 94,35 единиц сухого вещества и 5,65 единиц воды; таким образом, содержание воды в зерне пшеницы составляло около 6% к сухому весу. Для того чтобы произвести 1 ц пшеницы (включая эту воду), потребуется 1 132 ц воды на испарение и транспирацию. Урожай в 29 ц на га потребует:

$$\frac{29 \times 1\,132}{10} = 3\,282 \text{ м}^3,$$

или, выражая в единицах глубины поливной воды, 328 мм, или 13".

Если принять, что продуктивность полива ( $E_p$ ) (см. гл. XVII) равняется 70%, тогда из уравнения (59) очевидно, что

$$W_p = \frac{328}{0,70} = 469 \text{ мм (18,7")}. \quad 1$$

Это означает, что при испарительно-транспирационном коэффициенте, равном 1 200, и продуктивности полива в 70% необходимо подать хозяйству около 18,7" воды (469 мм, или 4 690 м<sup>3</sup>) для производства 29 ц зерна пшеницы на га при условии, что количество воды, получаемое в виде осадков, настолько ничтожно, что им можно пренебречь. Если 5" (125 мм) из необходимых 13" (328 мм) запасены в почве от естественных осадков, тогда ирригатору нужно запасти дополнительно всего 8" (200 мм), но при продуктивности полива в 70% ему необходимо получить на хозяйство 11,4" (285 мм).

В большинстве западных штатов период вегетации зерновых злаков значительно короче того периода, в течение которого

температурные условия вполне благоприятствуют росту. Хотя испарительно-транспирационный коэффициент у зерновых злаков фактически может быть таким же, как у люцерны, — более короткий период вегетации и более раннее созревание могут обусловить меньшую общую потребность в воде за сезон у зерновых, чем у люцерны. Опытные станции сельскохозяйственных институтов отдельных штатов и департамент земледелия США провели много ценных опытов по изучению потребности в воде зерновых злаков.

Результаты исследований потребности в воде приведены в следующих параграфах.

**238. Потребность в воде пшеницы.** Данные, приведенные на рис. 122, показывают, что 15" воды, заланые в три полива по 5" на глубоких влагоемких почвах Гринвилльской опытной фермы, дали больший урожай, чем 20" в четыре полива по 5".

Основываясь на опытах по орошению яровой пшеницы с 1900 г. по 1916 г. на средних глинистых почвах подстанции Гудинг штата Айдаго, Уэльч (Welch) пришел к заключению, что для яровой пшеницы достаточно 15" (370 мм), а для озимой пшеницы 8" (200 мм). Среднее годовое количество осадков на станции Гудинг в течение периода опытов равнялось 9,2" (230 мм), из которых 2" (78 мм) выпадало в течение вегетационного периода с 1 апреля по 31 августа.

Работая в Рено в штате Невада с 1914 г. по 1918 г., Найт и Гардман (Knight and Hardman) получили наивысшие урожаи пшеницы при 28" воды (700 мм). Согласно описаниям, почвы на ферме этой станции варьируют от супесчаных до глинистых при средней глубине около 4 футов (160 см), ниже залегают грубые песчаные и хрящеватые подпочвы. Заслуживает внимания, что среднее годовое количество осадков в течение 5-летнего периода было ниже 8" (200 мм), в течение же периода вегетации количество осадков было совершенно ничтожно.

Марр (Marr) изучал в долине Соленой реки штата Аризона потребность в воде пшеницы путем измерения количеств потребленной воды на 15 фермах. Почва на семи фермах представляла супеси, на одной — суглинок и на семи — средние глины. Годовые осадки очень низки: в течение периода опытов они равнялись от 4,5" (112 мм) до 9" (225 мм) или немного более. Марр сомневается в том, следует ли вообще придавать значение осадкам при учете потребности в воде. Он приходит к выводу, что для выращивания пшеницы и других зерновых злаков в долине Соленой реки количество воды от 17 до 22" (от 425 до 550 мм) является достаточным.

В долине Мезилла в штате Новая Мексика климатические условия сходны с таковыми в долине Соленой реки в штате Аризона. Среднее годовое количество осадков равняется 8,6" (215 мм), из которых около 5,8" (145 мм) выпадает в течение летнего сезона. Летние осадки выпадают в виде коротких ливней, в среднем около 0,3" (7,5 мм) за сутки. Испарение после дождей настолько сильно и глубина проникания осадков настолько незначительна, что Блудгуд и Кэрри (Bloodgood and Curry)

пришли к заключению, что выпадающими в течение периода вегетации естественными осадками в качестве источника воды для культурных растений можно совершенно пренебречь. Основываясь на изучении на 28 фермах культуры пшеницы, получавшей от 7 до 25" (от 175 до 630 мм) воды, они пришли к выводу, что «наилучшие урожаи на акр давали поля, получившие около 19" (475 мм) воды за ирригационный период в 150 дней, заданной по 4" (100 мм за полив)».

Фортье и Йонг (Fortier and Young) тщательно исследовали «потребности в поливе» и «потребности в воде» засушливых и полусушливых земель юго-западных штатов. На основании своих наблюдений они пришли к заключению, что потребность пшеницы в воде, включая поливную воду, влагу, использованную из запасов в почве, и осадки, колеблется от 17,5" (437 мм), как наиболее низкого предела, и до 27" (670 мм), как наиболее высокого предела.

**239. Потребность в воде овса.** Количество воды, необходимое для выращивания овса, мало отличается от того количества, которое потребно для пшеницы. Гаррис и Питтман нашли, что можно получить прекрасные урожаи овса в штате Юта всего с 15" (370 мм) оросительной воды при условии своевременной дачи поливов. Для условий, сходных с этими, на станции Гудинг штата Айдаго Уэльч (Welch) рекомендует для овса около 21" (530 мм) воды, Бекетт и Гюберти (Beckett and Huberty) сообщают, что в долине Сакраменто в Калифорнии в годы со средним или высоким количеством осадков можно с выгодой выращивать овес, так же как и пшеницу, без орошения, тогда как в годы с низким количеством осадков два средних полива дадут выгодное повышение урожая овса.

Работы Эйчера на Абердинской подстанции штата Айдаго показали, что с орошением можно получать поразительно высокие урожаи овса. Рис. 126 показывает, что при удачном подборе сортов и хорошем уходе при орошении в долине Змеиной реки в почвенных условиях, сходных с теми, которые имеются в Абердине, можно получить от 100 до 110 бушелей на акр (от 44 до 48 ц на га). Эйчер утверждает, что в годы со средним количеством осадков достаточно от 3 до 4 поливов.

**240. Потребность в воде ячменя.** Так же как и пшеница и овес, ячмень требует умеренных количеств поливной воды. Как видно на рис. 124, Гаррис и Питтман нашли, что на опытной станции штата Юта всего только 10" (250 мм) поливной воды, заданной в раннем возрасте, дали урожай в 40 бушелей на акр (22 ц на га), а 15" (375 мм), данные в три полива, по одному в каждую из первых фаз развития, дали 42 бушеля на акр (23 ц на га), тогда как 20" (500 мм) дали всего 38 бушелей на акр (21 ц на га). Уэльч рекомендует 18" (450 мм) для долины Змеиной реки в условиях, сходных с таковыми на станции Гудинг.

Рис. 127 показывает, что ячмень, так же как и овес, дает большие урожаи на поливных землях в южной части штата Айдаго, в среднем от 73,1 бушеля на акр (40 ц на га) для сорта Смирна и до 87,4 бушеля на акр (47,6 ц на га) для сорта Троби.

**241. Потребность в воде ржи.** Из четырех хлебных злаков — пшеницы, овса, ячменя и ржи по всей вероятности рожь проявляет наименьшую потребность в воде. Действительно, рожь редко орошают, в связи с тем, что она чувствительна к избытку влаги, и потому, что она и без того дает хорошие урожаи в условиях сухого земледелия.

**242. Потребность в воде кукурузы.** В западных штатах, с расширением молочного хозяйства, кукуруза постепенно приобретает все большее значение. Хотя получение высоких урожаев люцерны для корма скота значительно смягчает остроту вопроса о производстве кукурузного силоса, тем не менее многие передовые животноводы считают, что кукурузный силос является очень существенным дополнением к люцерне. Кукурузу на зерно можно успешно выращивать на глубоких влагоемких почвах лишь с небольшим количеством воды, обеспечиваемым естественными осадками, но для целей силоса орошение обычно необходимо.

Уидсо (Widtsoe) давно нашел, что на центральной опытной станции штата Юта максимальные урожаи кукурузы почти в 100 бушелей зерна на акр (около 65 ц на га) получались всего лишь при 25" (630 мм) поливной воды. Но ему удавалось также получать превосходные урожаи с поливом всего лишь в 10 и 15" (250 и 370 мм) воды, и он пришел к заключению, что в благоприятных почвенных условиях и в климате, сходным с климатом долины Каши штата Юта, 12—15" (300—370 мм) вполне достаточны для кукурузы.

Питтман и Стюарт (Pittman and Stewart) показали, что в условиях центральной опытной станции штата Юта кукуруза резко повышает урожай с увеличением оросительной нормы до 20" (500 мм); урожаи мало изменяются с повышением нормы до 30" (750 мм); с дальнейшим повышением нормы обнаруживается тенденция к уменьшению урожая. При соответствующем водоснабжении и на плодородных почвах кукуруза может давать от 60 до 80 бушелей зерна на акр (от 39 до 52 ц на га) и от 17 до 20 т и более силоса (от 42 до 50 т на га).

## ОРОШЕНИЕ ЛЮЦЕРНЫ

Из общей земельной площади западных штатов только чрезвычайно малый процент орошается или может быть орошен. Обширные площади этого района подходят только для пастбищ, и использование земель для развития животноводства в этих штатах имеет первенствующее значение. Продукция кормовых растений для содержания большого количества мясного и молочного скота в течение суровых зим составляет первоочередную заботу жителей западных штатов. К наиболее распространенным и наиболее устойчивым из кормовых растений следует отнести люцерну. Она роскошно развивается в почвенных и климатических условиях засушливых районов при условии достаточного обеспечения водой. Во многих местностях люцерна сохраняет способность расти в позднее время периода вегетации, пребывая в сухие периоды в покоящемся состоянии. Она обладает большой приспособленностью в отношении разнообразия высотных и температурных условий. В течение продолжительного вегетационного периода в штатах Аризона, Калифорния и Новая Мексика люцерна дает от 6 до 8 укосов за год при общем урожае от 8 до 10 т на акр (20—25 т на га), тогда как в более возвышенных долинах горных штатов, где вегетационный период очень короткий, получается всего только 1 или 2 укоса при урожае от 1 до 3 т на акр (2,5—7,5 т на га). Люцерна выращивается удовлетворительно в качестве основной кормовой культуры как на высоте ниже уровня моря, так и на высоте почти 8 000 футов (2 438 м над уровнем моря).

По данным Фортье (Fortier), более двух третей площади, занятой люцерной в США, расположены в 17 западных штатах.

**243. Методы орошения люцерны.** На выбор метода орошения люцерны наибольшее влияние оказывают почвенные условия. Будучи относительно выносливым к недостатку влаги растением, люцерна может быть успешно орошена любым из нескольких приведенных ниже методов. Наиболее часто применяются методы дикого напуска, напуска по полосам и затопления. В местностях, где водоснабжение очень ограничено и поверхность земель непригодна для полива по полосам или затоплением, люцерна поливается методом мелких борозд. Метод полива бороздами особенно выгоден, когда люцерна выращивается на семена,

так как при этом методе обеспечиваются тщательный уход в культуре и борьба с вредными насекомыми.

Кратковременное затопление люцерны при орошении методами напуска и затопления не вредно, но если оно затягивается на длительное время, т. е. на много часов, оно может иногда оказать и вредное действие. Высокие температуры и отражение солнечных лучей от поверхности воды вредны для молодых растений люцерны, и поэтому нужно особенно избегать длительного затопления в течение более жарких периодов. На сравнительно ровных поверхностях при почвах с низкой проницаемостью иногда земли оставляют надолго под водой с целью заставить воду глубже проникнуть в почву. При выращивании люцерны на почвах, воспринимающих влагу очень медленно, полезно орошать чаще, задавая более низкие поливные нормы. Необходимо также стремиться, насколько это возможно, повысить проницаемость таких почв для того, чтобы иметь возможность достаточно промочить почву без длительного затопления поверхности. Можно увеличить проникание воды в почву без повреждения растений и без смачивания всей поверхности, пропуская по бороздам очень небольшую струю на длительное время.

Люцерновые и другие сенокосные угодия обычно допускают применение более сильных струй, чем возможно для зерновых злаков и корнеплодов. В штате Юта величина струи колеблется в среднем от 2 до 5 куб. фут/сек с крайними пределами от 1 до 8 куб. фут/сек. Для земель, соответствующим образом подготовленных для полива напуском полос или затоплением, допускают применение более сильных струй без размыва. В долине Солевой реки в штате Аризона при орошении люцерны напуском полос обычно применяют струи от 5 до 10 куб. фут/сек. В некоторых частях долин Саграменто и Сан-Хоакин в Калифорнии для полива люцерны применяют даже более высокие напоры. Там, где поверхность не имеет слишком большого уклона, иногда допускают и метод затопления. Небольшие чеки, применяемые для экспериментального изучения орошения люцерны, представлены на рис. 128. При правильном орошении люцерны дает большие урожаи. Рис. 129 показывает люцерновое поле перед сметыванием сена в копны.

**244. Распределение корневой системы люцерны.** Люцерна широко известна как растение, глубоко проникающее своими корнями в почву. Бекетт и Гюберти (Beckett and Huberty), на основании изучения распределения корней в Дэвис и в Дели в Калифорнии, пришли к заключению, что различные схемы орошения не влияют существенно на распределение корней. Результаты их изучения 6 различных схем орошения представлены на рис. 130. Они нашли, что, несмотря на глубокое укоренение люцерны на почвах рыхлой структуры, одна треть или более от общего веса корней в 2-метровой толще (6 фут в) сосредоточена в верхних 15 см (6"). Вода поглощается растениями из почвы преимущественно мельчайшими корневыми разветвлениями, которые почти невозможно учесть при полевом обследовании распределения корней. Вес корней, поглощающих воду, отно-

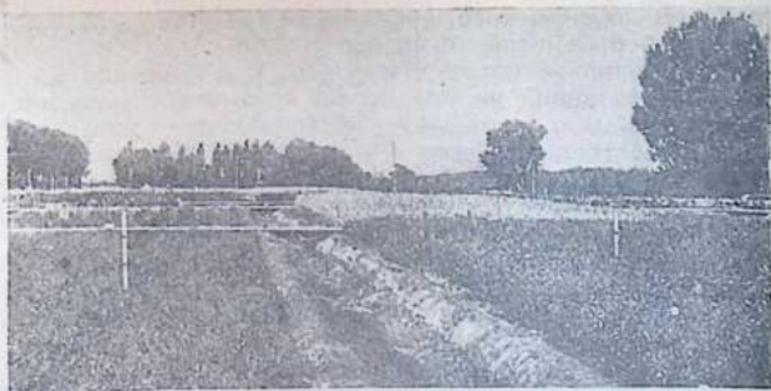


Рис. 128. Делянки с орошаемой люцерной. На рисунке видны валки, сооружаемые для удержания поливной воды на делянке. Между засеянными делянками — промежутки шириною в 7 футов (из Utah Agr. Exp. Sta. Bull. 219).

нительно мал. Поэтому очень существенно, что от 1,5 до 2,6% общего веса корней было найдено в самом нижнем слое на глубине от 150 до 180 см. Аэрация и основные бактериальные процессы в почвах засушливых районов происходят на сравнительно больших глубинах. Хотя и возможно, что люцерна добывает воду в основном из верхних слоев почвы, тем не менее заслуживает внимания, что в хорошо дренированных почвах



Рис. 129. Люцерну необходимо складывать в небольшие кучи, пока она еще зеленая. Это спасает от потерь листьев и содействует развитию аромата (из Utah Agr. Exp. Sta. Circular 45).

часть корней проникает на значительные глубины, где изменения влажности происходят весьма медленно и где общая амплитуда колебаний невелика. Фортъе правильно отмечает, что корни люцерны, выращенной в почвах с близким уровнем грун-

| Число поливов за сезон |           |                              |           |                              |           |                              |
|------------------------|-----------|------------------------------|-----------|------------------------------|-----------|------------------------------|
| 4 по 7½ дюймам         |           | 3 по 10 дюймам               |           | 2 по 15 дюймам               |           |                              |
| Процент корней         | Тип почвы | Процент корней               | Тип почвы | Процент корней               | Тип почвы |                              |
| 6                      | 33.2      | Мелкая супесь                | 34.0      | Мелкая супесь                | 35.7      | Мелкая супесь                |
| 12                     | 14.6      | — " —                        | 18.5      | — " —                        | 15.6      | — " —                        |
| 18                     | 11.2      | — " —                        | 10.3      | — " —                        | 11.8      | — " —                        |
| 24                     | 8.2       | — " —                        | 8.6       | — " —                        | 8.2       | — " —                        |
| 30                     | 7.0       | — " —                        | 6.2       | — " —                        | 5.0       | — " —                        |
| 36                     | 5.4       | Мелкая супесь и мелкий песок | 6.0       | — " —                        | 4.3       | — " —                        |
| 42                     | 4.8       | — " —                        | 4.1       | — " —                        | 3.6       | — " —                        |
| 48                     | 3.9       | Мелкий песок                 | 3.0       | — " —                        | 4.4       | Мелкая супесь и мелкий песок |
| 54                     | 3.3       | — " —                        | 3.1       | — " —                        | 3.1       | Мелкий песок и гравий        |
| 60                     | 3.3       | — " —                        | 2.4       | Мелкая супесь и мелкий песок | 3.3       | Мелкий песок                 |
| 66                     | 2.5       | Мелкий песок и гравий        | 1.8       | Мелкая супесь и гравий       | 2.8       | — " —                        |
| 72                     | 2.6       | — " —                        | 2.0       | Гравий                       | 2.2       | Мелкий песок и гравий        |

| Число поливов за сезон |           |                               |           |                               |           |                        |
|------------------------|-----------|-------------------------------|-----------|-------------------------------|-----------|------------------------|
| 12 по 2½ дюймам        |           | 8 по 3¼ дюймам                |           | 6 по 5 дюймам                 |           |                        |
| Процент корней         | Тип почвы | Процент корней                | Тип почвы | Процент корней                | Тип почвы |                        |
| 6                      | 33.0      | Мелкая супесь                 | 42.3      | Мелкая супесь                 | 37.2      | Мелкая супесь          |
| 12                     | 14.2      | — " —                         | 15.2      | — " —                         | 15.9      | — " —                  |
| 18                     | 11.9      | — " —                         | 10.1      | — " —                         | 12.6      | — " —                  |
| 24                     | 8.5       | — " —                         | 8.1       | — " —                         | 6.8       | — " —                  |
| 30                     | 7.5       | — " —                         | 5.3       | — " —                         | 6.9       | — " —                  |
| 36                     | 6.3       | — " —                         | 4.8       | — " —                         | 4.8       | — " —                  |
| 42                     | 4.8       | — " —                         | 3.9       | — " —                         | 4.4       | — " —                  |
| 48                     | 3.9       | — " —                         | 2.3       | Мелкая супесь<br>Мелкий песок | 3.0       | — " —                  |
| 54                     | 3.1       | — " —                         | 2.5       | Мелкий песок                  | 2.6       | — " —                  |
| 60                     | 2.7       | Мелкая супесь<br>Мелкий песок | 2.2       | — " —                         | 2.3       | — " —                  |
| 66                     | 2.4       | — " —                         | 1.8       | — " —                         | 1.8       | — " —                  |
| 72                     | 1.6       | Мелкий песок                  | 1.5       | Гравий                        | 1.7       | Мелкая супесь и гравий |

Рис. 130. Распределение корней люцерны при различных схемах орошения на Университетской ферме в Дэвисе в Калифорнии. Различия в схемах орошения повидимому мало повлияли на распределение корней (из Calif. Agr. Exp. Sta. Bull. 450).

товой воды, сконцентрированы преимущественно у поверхности. Рис. 131 изображает случай, когда уровень грунтовой воды на глубине 3 футов (90 см) обусловил развитие более 97% корней в верхних 2 футах (60 см). Это соотношение в распределении

корней дает возможность понять кажущийся парадоксальным факт, что на плохо дренированных почвах раньше всего наблюдается страдание люцерны от засухи.

Высокая температура и сухая атмосфера жарких летних дней обуславливают быструю потерю воды с поверхности почвы через транспирацию и испарение, уровень грунтовых вод понижается, и неглубокий почвенный слой, в котором распределены корни, не имеет достаточного запаса влаги, чтобы удовлетворить нужды растений.

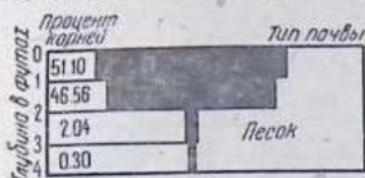


Рис. 131. Распределение корней люцерны при уровне грунтовых вод на глубине 3 футов.

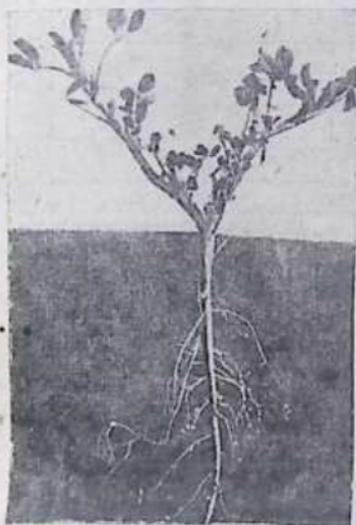


Рис. 132. Корневая система люцерны. Клубеньки, образующиеся на мелких корнях люцерны, дают ей возможность усваивать азот из воздуха. Клубеньки заселены бактериями (из Utah Agr. Exp. Sta. Circular 45).

В результате вскоре проявляются признаки страдания от засухи. Такого положения особенно легко можно ожидать на тяжелых почвах с низкой водопроницаемостью, которые не могут достаточно быстро передать воду, даже из близко залегающих грунтовых вод, для снабжения растений в тех случаях, когда полив почему-либо задерживается. На рис. 132 представлен характер корневой системы типичного растения люцерны.

**245. Сроки полива люцерны.** Энергия ежедневного прироста люцерны на данной почве в значительной степени зависит от двух факторов: а) от количества доступного тепла и б) от количества доступной влаги. Человек не может повлиять на количество доступного тепла — оно определяется естественными условиями данного местообитания. Что же касается обеспечения достаточным количеством доступной влаги для максимального роста, возможного при данных количествах тепла и других условий, то в орошаемом хозяйстве это может быть обеспечено. Считают, что избыточное орошение в раннее время вегетационного периода в условиях сравнительно холодного климата задерживает рост, охлаждая почву.

Например, в долине Капи штата Юта почвы, обладающие большой влагоемкостью и снабженные водой таящих зимних снегов и весенних осадков, редко дают повышение урожая при даче полива до половинного отрастания после первого укоса.

При тщательном наблюдении опытные хозяева по внешнему

виду листьев могут примерно определить время необходимости полива. Темнозеленая окраска считается признаком потребности в воде. Временное увядание также служит предупреждением о приближающемся истощении водных запасов. Но необходимо учитывать, что один внешний вид растений может и не обнаружить непосредственной потребности в воде. В таком случае большую помощь в определении времени полива может оказать взятие почвенных проб на влажность при помощи бура на глубинах от 150 до 180 см. Автор настоящей книги обследовал почвы многих полей, на которых внешний вид растений и верхние слои почвы на глубину десятка см не обнаруживали непосредственной потребности в воде, тогда как на глубине от 60 до 130 см почва оказывалась чрезвычайно сухой. Такого рода условия почвенной влажности на люцерновых полях являются индикатором на необходимость дачи полива в возможно более близкий срок. Во время периода роста люцерны не должно быть сухой почвы в пределах глубин, достижимых при помощи обыкновенного бура, т. е. в пределах до 180 — 240 см.

**246. Частота поливов люцерны.** В связи с наличием многих изменчивых факторов нельзя установить определенных сроков полива люцерны, которые были бы применимы для любых условий. Основное влияние оказывают механический состав и глубина почвы, температура, атмосферная влажность и ветры и, наконец, осадки периода вегетации.

Поуэрс сообщает, что на песчаных почвах станции Уматилла в штате Орегон было найдено, что лучше всего орошать два раза в неделю, тогда как на супесчаных почвах долины Дешюте, где получается два или три укоса люцерны, наилучший результат дают два полива за укос; наконец, на тяжелых почвах в Корваллис достаточно одного полива за укос.

На некоторых маломощных почвах штата Юта грубого механического состава в течение более теплого периода лета орошают каждые 10 дней; на маломощных хрящеватых почвах нередко дают легкий полив каждые 7 дней. Многие люцерновые поля в штате Юта, расположенные на глубоких суглинистых почвах, дают обильные урожаи при одном поливе за незелую до первого укоса, втором подвиге вскоре после первого укоса, третьем поливе до второго укоса и четвертом — через две недели после второго укоса.

**247. Потребность люцерны в орошении.** По сравнению с большинством культурных растений, выращиваемых при орошении, люцерна требует относительно больших количеств поливной воды, и это не потому, что люцерна использует воду с низкой продуктивностью, а скорее в связи с тем, что она производит за год большую массу. Зерновые злаки созревают в довольно сжатый период времени — от 90 до 110 дней, тогда так люцерна растет непрерывно до тех пор, пока средние температуры держатся выше минимума для роста и пока растения не пострадали от заморозков. Из этого естественно следует, что чем длиннее вегетационный период, тем больше потребность люцерны в орошении и тем выше урожай. В западных штатах ве-

гетационный период люцерны продолжается от ста и менее дней, в некоторых высокогорных северных долинах, и до более трехсот дней в некоторых из низменных долин Аризоны и Калифорнии. Ежегодный урожай люцерны хотя в значительной степени зависит от плодородия почвы, но находится в зависимости также и от климатических условий и длины вегетационного периода и колеблется от 3 и менее до 10 и более т на акр (от 7,5 до 25 т на га). Эти общие положения о потребных для люцерны количествах поливной воды основаны на опытных данных, полученных исследователями в различных частях США и кратко резюмированных в следующем параграфе.

**248. Экспериментальные исследования потребности люцерны в поливной воде.** Работая в долине Солёной реки в штате Аризона, Марр (Marr) нашел, что урожай люцерны возрастает с увеличением количества поливной воды до общей глубины за вегетационный период в 84" (2100 мм), но уже 48" (1200 мм) считается надежным количеством для ежегодного потребления. Сравнивая свои наблюдения в Аризоне со сходными исследованиями в штате Айдаго, Марр пришел к заключению, что, в связи с различиями в климатических условиях, люцерна требует большее количество поливной воды в Аризоне, чем в любом из других штатов. Это соотношение ясно видно из рис. 112.

Адамс, Бекетт и Гюберти (Adams, Beckett and Huberty) и другие сотрудники отдела исследований и практики орошения провели очень тщательные и обширные исследования потребности в поливе люцерны в Калифорнии. Они нашли, что максимальный урожай на Университетской ферме в долине Сакраменто получается при годовом количестве поливной воды в 36" (900 мм), как видно из рис. 112 в гл. XV, тогда как в Дели в долине Сан-Хоакин наивысший урожай получен при 42" (1050 мм).

Результаты их работ с 1910 г. по 1915 г. в Дэвисе представлены на рис. 133 и с 1922 г. по 1924 г. в Дели — на рис. 134.

Работая на почвах опытной станции Гудинг в штате Айдаго, Уэльч (Welch) пришел к заключению, что доведение сезонного потребления оросительной воды вплоть до нормы в 33" (825 мм) вполне оправдывается увеличением урожая люцерны.

Найт и Гардман (Knight and Hardman), после 4 лет изучения потребности люцерны в орошении на сравнительно неглубоких супесчаных и суглинистых почвах опытной станции Невада в Рено, пришли к выводу, что 42" (1050 мм) является наиболее выгодной оросительной нормой.

Блудгуд и Кэрри на основании измерений фактически использованной воды на 85 фермах в Новой Мексике нашли, что наилучший результат дает 50" (1250 мм). Таким образом, данные, полученные в долине Мезилла в Новой Мексике и в долине Солёной реки в Аризоне, близко совпадают. И те и другие данные основаны на опытах, поставленных в широком масштабе, тогда как вышеприведенные данные из Калифорнии, Айдаго и Невады получены на сравнительно небольших опытных участках, на которых поливная вода более тщательно учитывалась и распределялась более равномерно.

В результате 43 испытаний на люцерновых фермах в восточной части штата Орегон Поуэрс нашел, что 25" поливной воды дают максимальный урожай, примерно в 4,5 т на акр (11,25 т на га).

Согласно сообщению Питтмана и Стюарта (Pittman and Stewart), 28 лет наблюдений над урожаями люцерны при различных оросительных нормах на глубоких, хорошо дренирован-

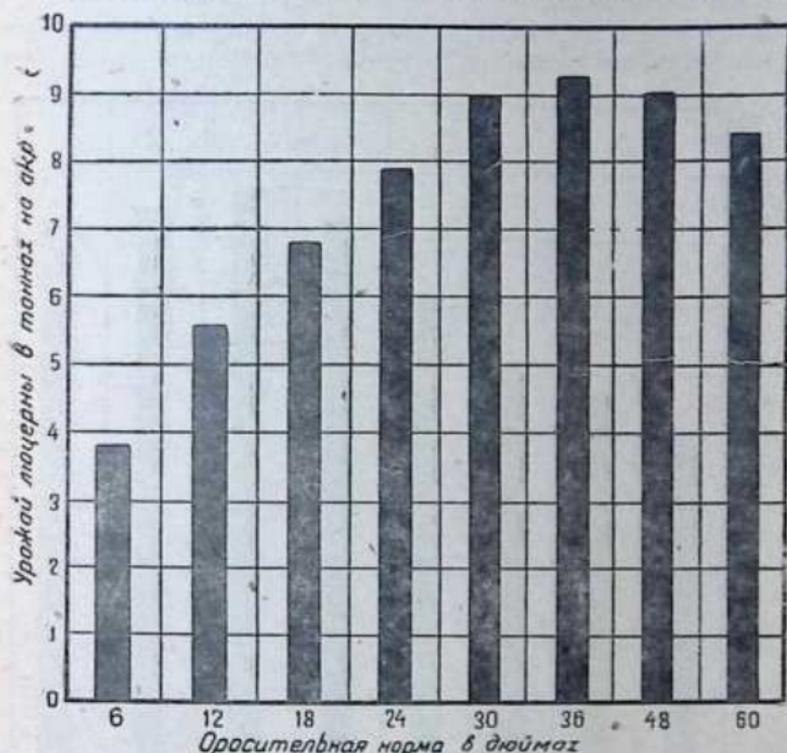


Рис. 133. Результаты опытов по изучению потребности люцерны в воде на Университетской ферме в Дэвисе в Калифорнии за 1910—1915 гг. (из Calif. Agr. Exp. Sta. Bull. 450).

ных суглинках опытной станции в штате Юта показали, что урожай люцерны возрастает с увеличением оросительной нормы примерно до 25" (620 мм); за пределами этой нормы повышение урожая становится незначительным. Испытывали применение избыточных количеств поливной воды — до 100" (2500 мм) и более за вегетационный период, но уменьшения урожая не получалось. Такое отсутствие снижения урожая при избытке воды объясняется, повидимому, большой глубиной почвы и прекрасными условиями естественного дренажа. Большинство других культурных растений, исследованных на опытной станции штата Юта, при избыточном орошении снижало урожай, некоторые даже в значительной степени. Важно отметить, что величины потребности в орошении, приведенные здесь, не включают осадков или запасов влаги в почве.

**249. Клевер в условиях орошения.** Вопрос об орошении клевера до настоящего времени систематически экспериментально очень мало проработан. Опыт практики показал приспособленность к условиям орошения нескольких сортов клевера. В долине Змеиной реки в штате Айдаго в широком масштабе производится орошение клевера, выращиваемого для пастбища и на сено. Значительные количества клевера при орошении также выращиваются на семена.

В одних и тех же климатических и почвенных условиях клевер для успешного развития требует несколько более частых

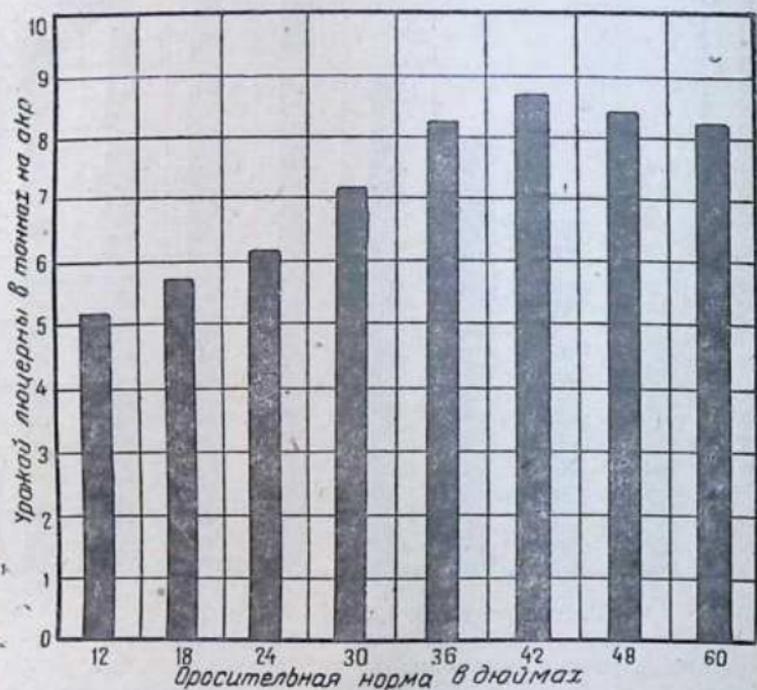


Рис. 134. Результаты опытов по изучению потребности люцерны в воде в Дели в Калифорнии за 1922—1924 гг. (из Calif. Agr. Exp. Sta. Bull. 450).

поливов, чем люцерна, но зато он нуждается в меньших поливных нормах, так что в конечном итоге за вегетационный период он требует не больше, а возможно даже и несколько меньше воды, чем люцерна.

**250. Травы в условиях орошения.** Тимофеевка, ежа, костер и другие кормовые травы в условиях орошения произрастают хорошо. Тимофеевка и другие местные травы развиваются и при избыточном орошении и частом затоплении водой, но умеренные количества поливной воды несомненно более соответствуют их потребностям. Во многих долинах в западных штатах более низко расположенные участки относительно переувлажнены вследствие

просачивания с более высоко расположенных земель и вследствие недостаточного естественного дренажа. Такие земли дают один укос сена за год с урожаем от 1,0 до 1,5 т на акр (от 2,5 до 3,75 т на га), после чего получается еще хорошая осенняя отава. Такие земли обычно чрезмерно влажны ранней весной и поздней осенью и потому мало пригодны для люцерны. При искусственном дренировании таких земель, на которых обычно произрастают лишь тимфеевка и местные травы, они дают обильные урожаи люцерны, в результате чего эффективность получается выше, чем при выращивании других трав. Поуэрс и Джонстон (Powers and Johnston) тщательно исследовали вопрос о мелиорации и потребностях в орошении естественных лугов и покосов в штате Орегон и нашли, что на мелиорированных землях можно получать 3½ т на акр клевера и тимфеевки, что в три раза превышает урожай, получаемый с естественных лугов.

В Юта, Орегон и других западных штатах имеются обширные луговые площади, которые при дренировании с последующим высевом клевера и люцерны и при осторожном и умеренном поливе дают значительно более высокие урожаи трав.

## ГЛАВА XX

### ОРОШЕНИЕ САХАРНОЙ СВЕКЛЫ И КАРТОФЕЛЯ

Орошение сахарной свеклы и картофеля широко распространено в засушливых районах западных штатов США. Для более успешной борьбы с энто- и фитовредителями необходимо включать сахарную свеклу и картофель в севооборот с другими культурами. Свекла и картофель имеют особенное значение в штатах Колорадо, Айдаго и Юта, где они вполне соответствуют климатическим условиям. В связи со сравнительной трудоемкостью подготовки почвы для сахарной свеклы и картофеля, необходимо очень внимательно относиться к их орошению, чтобы культура их была доходной.

Ввиду важности орошения сахарной свеклы и картофеля вопрос этот требует большого внимания. В настоящей главе мы намерены подчеркнуть некоторые моменты, которые, в целях достижения успеха в орошении сахарной свеклы и картофеля, требуют тщательного рассмотрения.

**251. Сахарная свекла.** Небрежное орошение — вернейший источник убытков при выращивании сахарной свеклы. Свекла гораздо более чувствительна к крайностям в увлажнении почвы, чем люцерна и другие кормовые растения. Кроме того, небрежное обращение с водой на полях, занятых сахарной свеклой, особенно ранней весной, может привести к размывам, распылению, образованию корки, растрескиванию почвы и т. п. явлениям, вредным для культуры сахарной свеклы.

**252. Методы орошения свеклы.** В большинстве свеклосахарных районов свеклу принято орошать методом полива бороздами, как представлено на рис. 135. Наилучшие почвы для сахарной свеклы — мелкоземистые суглинки и илистые глины — при поливе напуском трескаются и спекаются вокруг молодых проростков и, таким образом, задерживают их рост. Существенный вред оказывает иногда также чрезмерное повышение уровня воды в бороздах и соприкосновение ее с молодыми растениями свеклы. Даже когда листья становятся уже довольно крупными, ожоги, вызываемые отражением солнечных лучей от поверхности воды, могут оказаться весьма значительными. Полив, напуском или затоплением настолько редко применяется по отношению к сахарной свекле, что нет надобности останавливаться на этих методах, разве только чтобы подчеркнуть, что они

редко дают удовлетворительные результаты и что их необходимо заменить поливом по бороздам.

Одной из задач, постоянно стоящих перед ирригатором сахарной свеклы, является возможно более равномерное распределение воды по полю с целью избежать потерь воды и поврежденный растений, связанных с избытком влаги в одной части поля и недостатком увлажнения в другой его части. Ровность поверхности поля, умеренная длина борозд, тщательное изготовление борозд и правильное регулирование количества воды, поступающей в борозды из снабжающих арыков, — все это содействует равномерному распределению поливной воды. Необходимо до посева выравнять поверхность. Аккуратная пахота, бороньба и выравнивание волокушей необходимы даже для старопахотных земель. На новых землях необходимо нивелировать почву, снимая ее с возвышенных мест и перенося в углубленные участки. Подбор соответствующей длины борозд в значительной степени зависит от почвы. На легких пористых почвах они не должны превышать 330 футов (100 м), тогда как на суглинках и глинах нередко допускают борозды до 660 футов (200 м) длины. Для обеспечения равномерного распределения воды необходимо уделять особое внимание регулировке величины струи для каждой борозды. Слишком сильные струи воды могут разрушить борозды и, соединяясь из нескольких борозд в один мощный поток, могут размыть почву и повредить растения. Точно устанавливать пределы величины струи для каждой борозды нецелесообразно, но в общем можно указать, что наиболее часто применяются струи от 0,02 до 0,04 куб. фут/сек. Для этого струя в 1 куб. фут/сек направляется в 25—50 борозд одновременно. Многие в штате Юта и Айдаго регулируют количества поливной воды для отдельных борозд путем устройства многочисленных V-образных земляных выпусков из боковой стенки главного оросителя. Некоторые ирригаторы закладывают выходные отверстия небольшими пучками травы, чтобы предотвратить слишком большую скорость тока и размыв почвы. Одно такое выходное отверстие иногда снабжает от 4 до 8 борозд путем подразделения струи ниже выходного отверстия, как видно на рис. 136. Можно достичь более равномерного распределения, экономя притом труд по обслуживанию, если применять маленькие цилиндрические металлические выводные трубки диаметром от 2,5 до 5 см и длиной в 45—75 см. Такие выводные трубки особенно желательны там, где поливная вода в недостатке. Основным возражением против их применения является то, что они повреждаются во время культивации свекловичных полей.

Обычно рядки располагают равномерно на расстоянии 20" (50 см) и борозды проводят между рядками. Для первого полива, когда еще требуется относительно небольшое количество воды, очень часто воду пропускают через каждые два рядка, как видно на рис. 136. Второй полив производят по тем междурядьям, которые оставались сухими во время первого полива. В дальнейшие межполивные периоды свекла потребляет относи-

тельно большие количества воды, и тогда почву увлажняют более основательно, пропуская воду по всем бороздам.

Сравнительно новым приемом, завоевывающим себе успех, является рядовой посев свеклы с неодинаковыми расстояниями в междурядьях. Так, например, расстояние между парными рядками 16" (40 см), тогда как одна пара от другой разделена расстоянием в 24" (60 см). Борозды для полива в таком случае устраиваются только в более широких междурядьях, и расстояние от центра одной борозды до центра другой будет равняться 40" (100 см). В благоприятных почвенных условиях этот метод вполне удовлетворителен и несомненно берегает



Рис. 135. Пример исключительно хорошего орошения. Заслуживают внимания отсутствие затопления и равномерное распределение влаги в бороздах.

воду. Тяжелые плотные почвы с медленным передвижением капиллярной влаги не пригодны для расположения рядков на неодинаковых расстояниях с чередующимся расположением поливных борозд. На рис. 137 представлен полив при рядках, расположенных на неодинаковых расстояниях.

**253. Сроки полива свеклы.** В отношении сроков полива свекла отличается от зерновых злаков тем, что требует относительно больших количеств поливной воды к концу вегетационного периода. В районах возделывания свеклы в штатах Великого бассейна максимальные потребности свеклы в орошении падают на июль, август и сентябрь. Ввиду того, что естественная водоподача многих рек уменьшается заметно к концу июня или в начале июля, существенно обеспечить возможность поздней дачи воды свекле при помощи запасаания воды или накачивания.

В прежние годы в штате Юта было довольно широко распространено мнение, что первый полив каждого сезона нужно задержать до тех пор, пока свекла не обнаружит явных при-

наков завядания, а следовательно, и настоятельной потребности в воде. Предполагали, что вынужденная таким образом «борьба за воду» стимулирует более глубокое укоренение и более удлиненную форму корня, чем при раннем орошении. Более современным и несомненно более рациональным руководящим принципом в вопросе о сроках полива свеклы является то поло-



Рис. 136. Полив сахарной свеклы по бороздам в долине Севьер в штате Юта. Пока растения небольшие, устраивается одна борозда на 2 ряда.

жение, что наибольшие урожаи получаются тогда, когда все условия, в том числе и почвенная влага от прорастания растений до их созревания, благоприятствуют росту с той максимальной скоростью, которая только возможна при данных температурных условиях. Глубокие суглинистые и глинистые почвы в некоторых свеклосахарных районах штатов Скалистых гор хорошо обеспечиваются водой после нормального выпадения зимних снегов и весенних дождей. Сахарная свекла слабо потребляет воду на ранних фазах развития в мае и в июне, но влаги, запасенной от осадков за эти месяцы, обычно недостаточно для обеспечения дальнейшего максимального роста. Поэтому свекла нуждается в сравнительно позднем орошении. В долинах, где одновременно выращиваются зерновые злаки и свекла, к тому времени, когда требуются более обильные поливы для свеклы, основная потребность в воде зерновых уже бывает удовлетворена.

**254. Орошение и культивация.** Через несколько дней после каждого из поливов сахарной свеклы на ранних фазах разви-

тия, когда листья еще небольшие, производится рыхление междурядий для предотвращения чрезмерно сильного испарения, а также для улучшения аэрации почвы. Испарение обычно бывает наиболее сильно сейчас же после полива, когда поверхность почвы еще мокрая, поэтому считают полезным приступать к рыхлению, как только это возможно произвести без вреда для структуры почвы.

**255. Потребность свеклы в орошении.** Оросительная норма для культуры свеклы вероятно несколько выше, чем для зерновых злаков, но значительно ниже той, которая необходима для люцерны, особенно в климатических районах с очень длинным



Рис. 137. Орошение сахарной свеклы с неодинаковыми междурядьями при поливе двух рядков одной бороздой.

вегетационным периодом. Результаты десятилетней работы, начиная с 1923 г., Гарриса и Питтмана по изучению потребностей в воде сахарной свеклы, представленные в их отчете, приведены на рис. 138. Левая половина рисунка показывает, что максимальный урожай свыше 20 т на акр (50 т на га) получается при десяти задаваемых раз в неделю поливах, по  $2\frac{1}{2}$ " (630 м<sup>3</sup>) каждый<sup>1</sup>. Однако заслуживает внимания, что десять поливов, по 1" (250 м<sup>3</sup>) каждый, практически дали одинаковый урожай свеклы, как и десять поливов по  $2\frac{1}{2}$ ", тогда как десять поливов по 5" (1250 м<sup>3</sup>) дали заметно меньший урожай, чем обе предшествующие нормы.

В 1930 г., на основании просмотра всех работ по изучению потребностей свеклы в орошении, в том числе и отчета Гарриса и Питтмана, Питтман и Стюарт пришли к заключению, что сахарная свекла резко повышает урожай с увеличением оросительной нормы примерно до 15 или 20" (до 3750 или 5000 м<sup>3</sup>). В редких случаях урожай увеличивается с увели-

<sup>1</sup> Подливные и оросительные нормы в куб. м приводятся из расчета на 1 га. Примечание переводчика.

чением нормы до 25" (6 250 м<sup>3</sup>) и более. В общем же урожаи сахарной свеклы довольно заметно снижаются по мере увеличения нормы за пределы 20" (5 000 м<sup>3</sup>). Почти во всех случаях 10" (2 500 м<sup>3</sup>) поливной воды давали более высокие урожаи, чем 50" (12 500 м<sup>3</sup>).

Результаты исследований потребности в орошении сахарной свеклы в долине Север в штате Юта, проведенных Израэль-

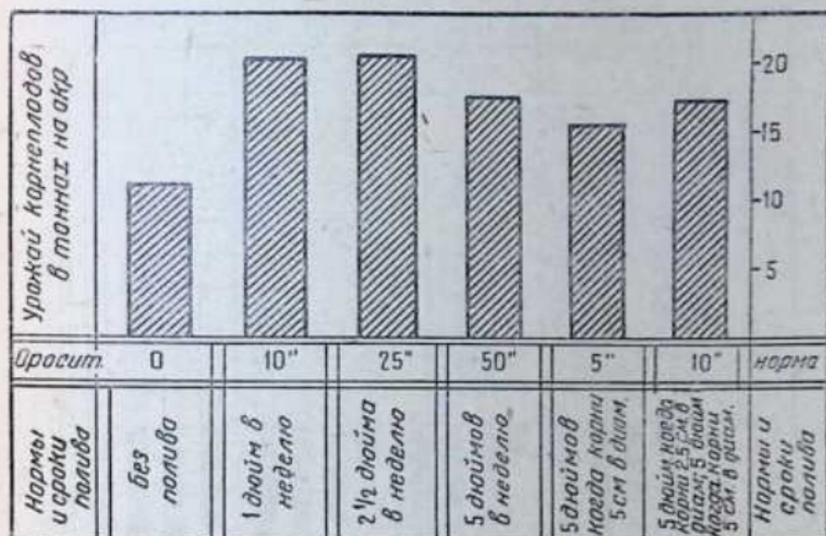


Рис. 138. Урожай сахарной свеклы на делянках, получивших различные оросительные и поливные нормы. Среднее за 10 лет (из Utah Agr. Exp. Sta. Bull. 186).

сеном и Уинзором (Israelsen and Winsor) с 1917 г. по 1920 г., представлены на рис. 139. Годовые осадки в долине Север около Ричфильда равняются примерно лишь половине осадков в долине Кан около Логана, где потребность в воде свеклы изучалась Гаррисом, Питтманом и Стюартом. В долине Север очень важно, как это обычно и принято, орошать почву под сахарную свеклу ранней весной до посева. Зачерненные столбики нижней половины рис. 139 представляют разную глубину воды, задаваемую ежегодно за вегетационный период, включая и 6" (1 500 м<sup>3</sup>) предпосевого полива. Число поливов после посева и поливные нормы представлены в следующей таблице.

| 1917                                      | 1918 и 1919                                 | 1920  |
|---|---|---|
| а) без полива                             | а) без полива                               | а) 3 полива по 4" (1 000 м <sup>3</sup> )   |
| б) 3 полива по 4" (1 000 м <sup>3</sup> ) | б) 4 полива по 3" (750 м <sup>3</sup> )     | б) 4 полива по 4,5" (1 120 м <sup>3</sup> ) |
| в) 3 полива по 6" (1 500 м <sup>3</sup> ) | в) 4 полива по 4,5" (1 120 м <sup>3</sup> ) | в) 4 полива по 6" (1 500 м <sup>3</sup> )   |
| г) 3 полива по 8" (2 000 м <sup>3</sup> ) | г) 4 полива по 6" (1 500 м <sup>3</sup> )   | г) 5 поливов по 6" (1 500 м <sup>3</sup> )  |

Показанная на рис. 139 глубина воды представляет поливную воду, из которой вычтен поверхностный сток. Вследствие нежелательности задержания воды на делянках, потребление за год фактически несколько ниже, чем та глубина, которой предполагалось обеспечить растения при даче поливов.

Найт и Гардман, работая в Неваде, нашли сравнительно небольшие различия в урожаях сахарной свеклы по мере увели-

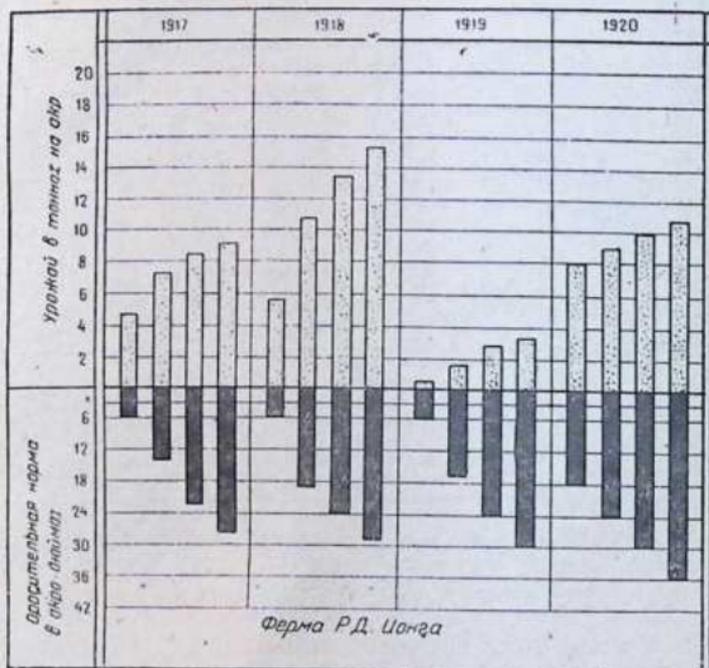


Рис. 139. Урожай сахарной свеклы в долине Севьер в штате Юта при различных количествах поливной воды (из Utah Agr. Exp. Sta. Bull. 182).

чения оросительной нормы с 12 до 18 и, наконец, до 24" (с 3 000 до 4 500 и, наконец, до 6 000 м<sup>3</sup>). Максимальный урожай был получен при 18".

**256. Методы орошения картофеля.** Картофель развивается в пределах широкой амплитуды климатических условий, но особенно чувствителен к высокой температуре. Легкие рыхлые суглинки и супеси более пригодны для культуры картофеля, чем более тяжелые плотные глинистые почвы.

Тщательность выравнивания поверхности — одно из существенных условий для успешного орошения картофеля. Картофель всегда орошается методами полива по бороздам, за исключением особенно благоприятных почвенных условий, допускающих применение подземного орошения. Особенно важно избегать непосредственного соприкосновения воды с растениями, поэто-

му для орошения картофеля необходимо делать глубокие борозды. Применение глубоких борозд позволяет успешно поливать картофель на таких землях, которые недостаточно ровны для правильного орошения сахарной свеклы. Полное насыщение почвы вокруг кустов картофеля, сопровождаемое образованием плотной корки и растрескиванием ее, может причинить серьезный вред растениям; для большинства почв желательно, чтобы глубина борозд достигала 25—30 см, что позволит избежать затопления кустов и застоя избыточной влаги вокруг клубней. В благоприятных топографических и почвенных усло-

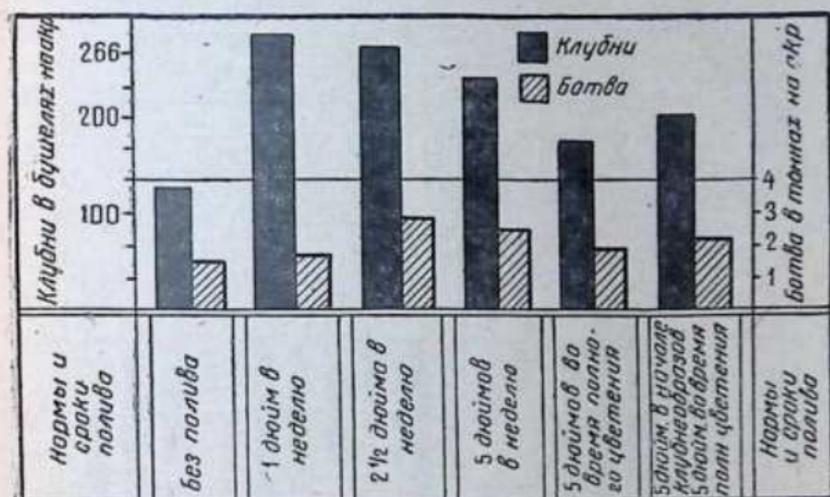


Рис. 140. Урожай клубней и ботвы картофеля при различных схемах орошения. Среднее из данных за 10 лет с 1912 г. по 1921 г. (из Utah Agr. Exp. Sta. Bull. 187).

виях борозды для картофеля могут быть длиннее, чем для свеклы. Повидимому 400 м явятся предельной величиной, как правило же предпочтительно делать борозды около 200 м длины. Более короткие борозды необходимы лишь на очень пористых почвах.

**257. Сроки полива картофеля.** При поливе картофеля, так же как и при поливе свеклы, необходимо в основном руководствоваться влажностью почвы. Очень важно, чтобы с самого начала перед посадкой почва была хорошо снабжена влагой для прорастания картофеля и для обеспечения роста до первого полива после посадки. В местностях, где осадки зимнего периода слишком незначительны для заполнения капиллярного водохранилища почвы, необходимо дать полив перед посадкой, но никогда не следует давать его сейчас же после посадки.

**258. Потребность картофеля в орошении.** Оросительная норма за вегетационный период для картофеля мало отличается от таковой для свеклы в одинаковых почвенно-климатических условиях. Опыты, проведенные Гаррисом и Питтманом на опытной станции штата Юта, показывают определенное преимущество мелких частых поливов. Рис. 140 дает результаты

средних за десятилетний период наблюдений, показывающие максимальный урожай при даче 1" (250 м<sup>3</sup>) еженедельно в течение 10 недель. Общая оросительная норма в 25" (6 250 м<sup>3</sup>) воды при десяти 2,5" (620 м<sup>3</sup>) поливах дала урожай меньше, чем десять 1" (250 м<sup>3</sup>) поливов. 50" (12 500 м<sup>3</sup>), заданные в 10 сроков по 5" (1 250 м<sup>3</sup>), вызвали заметное уменьшение урожая, а 10" (2 500 м<sup>3</sup>), заданные в два 5" (1 250 м<sup>3</sup>) полива, дали значительно

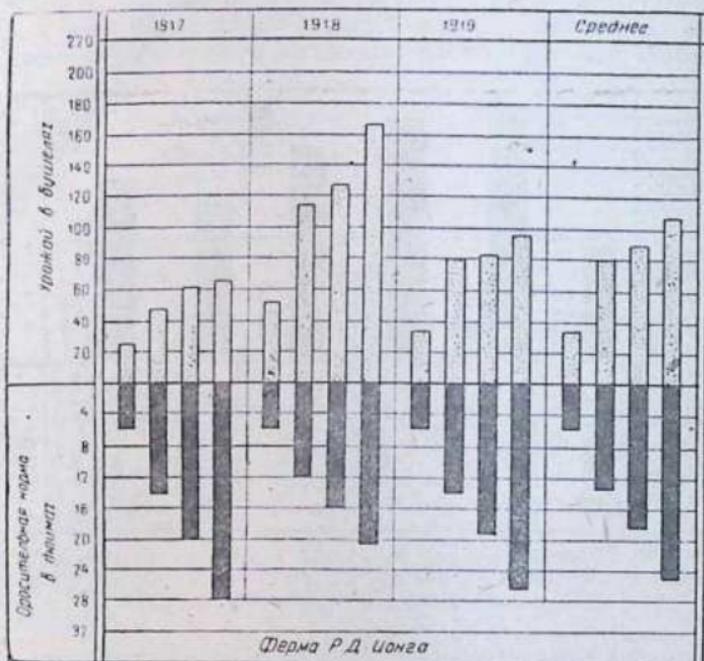


Рис. 141. Урожай картофеля в долине Севьер штата Юта при различных оросительных нормах (из Utah Agr. Exp. Sta. Bull. 182).

меньший урожай, чем та же оросительная норма, распределенная на 10 сроков по 1" (250 м<sup>3</sup>).

Основываясь на результатах 28-летнего изучения потребности в воде картофеля на центральной опытной ферме штата Юта, Питтман и Стюарт пришли к заключению, что урожай картофеля возрастает с увеличением оросительной нормы примерно до 15" (3 750 м<sup>3</sup>), увеличение же нормы за пределы 20" (5 000 м<sup>3</sup>) обычно вызывает уже уменьшение урожая. В очень немногих случаях дальнейшее увеличение оросительной нормы сопровождалось повышением урожая, но обычно при этом страдало качество картофеля.

Результаты 3 лет исследований потребности картофеля в орошении в долине Севьер в штате Юта, проведенных Израэльсеном и Уинзором, представлены на рис. 141. Эти исследо-

вания подтверждают высказанное уже ранее положение о необходимости дачи предпосевного полива при недостаточном количестве зимних осадков. За исключением 1918 г., общие урожаи на акр были невелики, однако заслуживает внимания, что за все годы наибольшая глубина оросительной нормы давала наибольшие урожаи картофеля.

**259. Орошение корнеплодов.** Морковь, репа, столовая свекла, кормовая свекла, турнепс, а также (из других культур) лук при орошении развиваются хорошо; впрочем площадь орошаемых земель, занятых ими, относительно невелика. Обычно принято орошать все корнеплоды методом полива по бороздам, за исключением специальных условий, при которых осуществимо подземное орошение. Частота поливов зависит в значительной степени, как и при поливе сахарной свеклы и картофеля, от механического состава, структуры и глубины почвы. Оросительная норма примерно соответствует норме для сахарной свеклы, хотя морковь и лук, повидимому, предпочитают несколько более увлажненную почву.

## ОРОШЕНИЕ ПЛОДОВЫХ САДОВ

Орошение плодовых садов представляет исключительный интерес, принимая во внимание их красоту и пользу в виде приносимых ими плодов. Выращивание плодов требует больших вложений труда и средств, а поэтому следует уделять особое внимание орошению плодовых деревьев, как одному из основных приемов ухода в плодоводстве засушливых районов. Плодоводство достигло высокой степени развития в некоторых районах западных штатов, в частности в Калифорнии, где водоснабжение ограничено. В таких условиях экономическая целесообразность требует уменьшения до минимума потерь воды и достижения высокой продуктивности в использовании оросительных вод. В настоящей главе кратко рассматриваются методы орошения плодовых садов, сроки и нормы полива яблонь, персиков и цитрусовых в определенных почвенно-климатических условиях, в которых проводились опытные наблюдения.

**260. Методы орошения плодовых садов.** При орошении плодовых садов широко применяется метод полива бороздами. Пользуются также и методом лунок, но площадь, орошаемая этим способом, сравнительно невелика. При решении вопроса, каким методом орошать плодовый сад, очень важно помнить, что в этом случае выбор метода, может быть, даже в большей степени, чем для растений полевой культуры, будет зависеть от свойств почвы и топографических условий. Крайние различия в условиях проницаемости в результате больших колебаний в механическом составе и в структуре почвы в различных точках сада затрудняют равномерное распределение воды при поливе методом борозд. Для таких условий более подходящим может оказаться метод полива лунками, описываемый в § 267. Количество доступной воды и стоимость ее проведения также влияют на выбор метода, и какого-либо общего правила, применимого для всех условий, не существует. В редких случаях плодовые сады орошают дождеванием, как показано на рис. 142.

**261. Метод полива бороздами.** Прекрасная иллюстрация орошения вишневого сада в Калифорнии методом полива по бороздам представлена на рис. 143. Между каждыми двумя рядами деревьев проведено по 7 борозд: таким образом удается легко увлажнить всю почву, в которой распределяются корни деревьев. Другие иллюстрации метода борозд будут представлены в даль-

нейших параграфах в связи с рассмотрением различных факторов, имеющих отношение к этому методу. Наиболее важные вопросы, которые необходимо разрешить при пользовании методом полива по бороздам, следующие:

- а) длина борозд,
- б) расположение и глубина борозд,
- в) уклон борозд и величина струи воды,
- г) методы проведения и подачи воды в борозды,
- е) способы устройства борозд.

**262. Длина борозд.** Для почв сравнительно однообразного механического состава и структуры и достаточной мощности, т. е. около 150 см или более, принято считать вполне подхо-



Рис. 142. Постоянная дождевальная установка в плодовом саду в работе (фото отдела исследований и практики орошения Калифорнийского университета).

дящими борозды около 180 м длиной. На маломощных, а также сильно пронизываемых и мало влагоемких почвах, а в особенности на почвах, имеющих различную мощность, механический состав и структуру, необходимы значительно более короткие борозды, чтобы равномерно распределить воду. Короткие борозды требуют больших затрат на обслуживание при проведении воды, и потому там, где подача воды не очень ограничена, может оправдаться проведение более длинных борозд, несмотря на большую пестроту почвы и связанные с этим относительно большие потери воды через просачивание вглубь. Мощные влагоемкие почвы с однообразной пронизываемостью допускают применение сравнительно длинных борозд. При изучении орошения цитрусовых на сравнительно тяжелых суглинках в южной Калифорнии Томас (Thomas) нашел, что борозды длиннее 90 м нежелательны. При длине борозд в 250 м и более избыточное увлажнение почвы около начала борозд снижало продуктивность полива и уменьшало урожайность плодовых деревьев.

**263. Расстояние между бороздами и глубина их.** Расстояние между бороздами зависит не только от свойств почвы, но и от возраста плодового сада, а также и от климатических условий. Борозды следует располагать всегда таким образом, чтобы почва, в которой находятся активные корни деревьев, промачивалась в достаточной степени. При достаточном водоснабжении ирригатор может полностью увлажнять всю почву даже



Рис. 143. Полив по бороздам вишневого сада (фото отдела исследований и практики орошения Калифорнийского университета).

в молодых садах, применяя 5 и более борозд между рядами деревьев, как видно на рис. 143. С другой стороны, там, где подача воды ограничена, садоводы часто получают удовлетворительные результаты с молодыми деревьями, применяя всего лишь 2 борозды, по одной с каждой стороны рядка деревьев. На мелких хрящеватых почвах в районе выращивания персиков в Брайгэм Сити в штате Юта некоторые взрослые персиковые сады имеют лишь по одной борозде с каждой стороны ряда деревьев. Гораздо лучше, однако, при орошении плодовых садов проводить 2 или 3 борозды по каждую сторону деревьев. Во взрослых плодовых садах особенно важно, чтобы вся корнеобитаемая зона на глубину первых десятков см была в достаточной мере снабжена легко доступной влагой. Особенно на неглубоких почвах грубого механического состава, где продвижение влаги вглубь происходит значительно быстрее, чем в стороны, большие расстояния между бороздами затрудняют увлажнение всей почвы. При орошении персиков около Брайгэм Сити в штате Юта проводят по 2 борозды с каждой стороны древесного ряда,

т. е. между рядами получается по 4 борозды. При расстоянии между рядами в 5 м, а от деревьев к первой борозде в 1 м и ко второй борозде в 1,5 м, остается пространство в 2 м между бороздами, более отдаленными от деревьев. В таком случае желательно иметь еще одну дополнительную борозду в середине этого междурядия.

Среди многих садоводов межгорных штатов США существует привратное мнение о том, что во взрослых плодовых садах необходимо проводить борозды возможно ближе к стволам деревьев. Близкое расстояние борозд (30—60 см) от деревьев вполне может быть рекомендовано на большинстве почв в молодых плодовых садах, но такая близость во взрослых садах, особенно яблоневых, совершенно излишня. Некоторые взрослые пло-

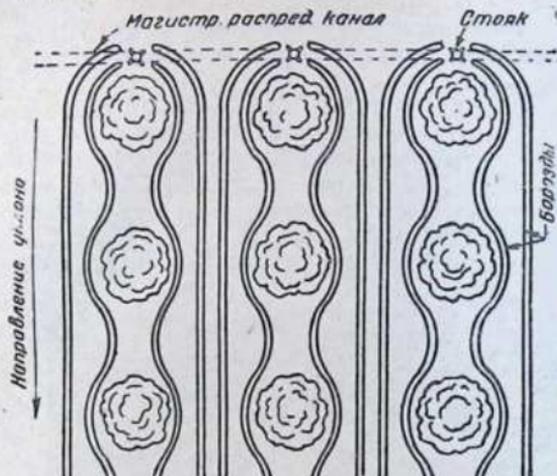


Рис. 144. Орошение плодового сада (слив) в Калифорнии по системе 3-бороздного полива (фото автора).

вые сады с почвой среднего механического состава и структуры и с тяжелой плотной подпочвой вполне хорошо орошаются при трех бороздах между рядами деревьев, как видно на рис. 144. Число борозд между древесными рядами, конечно, зависит и от расстояния, на котором посажены деревья. При расстоянии между рядами в 7,2 м, как показано на рис. 144, борозды располагаются на расстоянии друг от друга в 2,4 м; таким образом, ближайшая к деревьям борозда будет расположена в 1,2 м от них.

Во многих яблоневых садах неудобно проводить борозды ближе 180 см от деревьев, разве только применяя специальные орудия. Стелющиеся ветви мешают ближе проводить борозды обычными конными орудиями. Если такие сады расположены на мелкоземистых плотных почвах, рекомендуется провести две борозды с изгибом около дерева, как показано на рис. 145. В результате слишком больших расстояний между бороздами получают значительные площади «сухих пятен», т. е. с неувлаженной почвой. Неполитые участки почвы неблагоприятны

для максимальной производительности и должны сводиться до возможного минимума. Очевидно, что дать какое-нибудь общее,



для всех случаев, правило совершенного увлажнения почвы — невозможно, поэтому остается рекомендовать ирригаторам плодовых садов, в целях выявления на и более выгодных расстояний между бороздами, следить за распределением влаги в почве после полива при помощи почвенного бура. Целесообразность этого приема была давно признана ведущими исследователями про-

Рис. 145. Комбинация прямых и извилистых борозд (из Calif. - Agr. Exp. Sta. Bull. 253).

блемы влажности почвы в отношении плодовых садов.

Проникание воды вглубь в плодовых садах, особенно на более тяжелых почвах, значительно облегчается применением



Рис. 146. Полив по бороздам в персиковом саду близ Фрэсно.

глубоких борозд. При низкой проницаемости почвы для воды рекомендуется делать борозды от 15 до 20 см глубины. Борозды средней глубины, расположенные по 4 между рядами персиков в плодовом саду в Калифорнии, изображены на рис. 146.

При проведении глубоких борозд необходимо быть очень осторожным, чтобы не повредить корни деревьев. Порезка большого числа корней в поверхностных слоях является отрицательной стороной глубоких борозд.

**264. Уклон борозд.** Соответствующее регулирование величины струи допускает большое разнообразие в уклоне борозд в плодовых садах. Склоны некоторых холмов в Калифорнии, Орегоне, Юта имеют настолько большой уклон (до 20 на 100), что



Рис. 147. Многие плодовые сады в Калифорнии сажают на склонах холмов, где меньше повреждений от заморозков. Орошение на крутых неровных склонах наиболее продуктивно при посадке древесных рядов по линиям горизонталей и при проведении борозд по этим же линиям (из Calif. Agr. Extension Service Circular 16).

они затрудняют вспашку, обработку и уборку и поэтому неприменимы для культуры полевых растений и засаживаются плодовыми деревьями. В некоторых случаях такие сады на склонах орошаются по бороздам, проведенным вниз по наиболее крутому склону. Размыва почвы избегают, задавая очень слабую струю в 1/50 куб. фут/сек. или даже меньше. Лучшим и более современным приемом является посадка деревьев вдоль линий горизонталей, как видно на рис. 147. Этот способ посадки позволяет распределить воду в бороздах, имеющих такой уклон, который желателен для садовода.

Гюберти и Броун (Huberty and Brown) различают три типа методов планировки плодовых садов по горизонталям, а именно:

- 1) равномерное распределение деревьев вдоль линии горизонтали, независимо от правильности поперечных рядов;
- 2) неравномерное распределение деревьев вдоль горизонтали, соблюдая прямизну поперечных рядов;
- 3) посадка деревьев, независимо от горизонталей, по прямым поперечным рядам.

Эти авторы дают ценные и подробные указания относительно систем распределения воды, горизонталей, методов планировки, расходов по посадке и практики орошения на склонах холмов.

На хороших землях в местностях, где воды мало, перед посадкой плодовых деревьев на склонах холмов устраивают террасы, как видно на рис. 148. Устройство террас позволяет ир-



Рис. 148. Террасы на склоне холма для орошения методом полива по бороздам (из U. S. Dept. Agr. Farmers, Bull. 882).

ригатору более равномерно распределять воду и уменьшать потери ее. Когда террасы устраиваются на сравнительно пологих склонах, где ирригатор имеет возможность выбирать степень уклона борозд, лучше всего, если уклон будет от 0,4 до 1,00 м на 100 м длины. Рис. 149 показывает, как можно регулировать уклон борозд на склоне холма посадкой рядков виноградя по несколько извилистым линиям, параллельным горизонталям.

**265. Методы проведения и подачи воды.** В горных штатах ко многим плодовым садам вода проводится по обыкновенным земляным канавам и распределяется в борозды через выемки в валиках этих канав. Первоначальные расходы при этом невелики, но зато полив требует много труда, и вода расходуется очень расточительно. Некоторые ирригаторы применяют деревянные или бетонные жолоба. В наиболее важных районах плодоводства деревянные и бетонные жолоба большей частью заменяются системой подземных труб, как видно на рис. 150. Применение подземных труб значительно сокращает потребности

труда и расход воды. На рис. 151 представлен чертеж бетонного трубопровода. При посредстве водонапорного колодца в 40 см диаметром с железной задвижкой, представленного на рисунке с правой стороны, вода поднимается по вертикальной трубе-стояку, изображенному налево, проходит через открытый клапан и вытекает из четырех отверстий по 5 см в диаметре, сделанных в боковых стенках стояка. Маленькие задвижки из оцинкованного железа при входе в 5-см выходные отверстия позволяют удобно регулировать струю, вытекающую в каждую



Рис. 149. Орошение виноградника Университетской фермы в Дэвисе; борозды проведены по горизонталям.

борозду. Некоторые ирригаторы направляют струю воды из отверстий стояка прямо в борозды, другие применяют небольшие желоба из оцинкованного железа для проведения воды от стояка к бороздам. На рис. 152 представлен ряд стояков в ореховом саду после окончания полива и последующего рыхления поверхности почвы. Шесть желобов из оцинкованного железа (на рисунке на переднем плане) расположены так, как требовалось во время полива. Желоба у других стояков расположены таким образом, чтобы не мешать рыхлению вдоль столбов.

**266. Устройство борозд.** Мелкие борозды могут быть проведены одним из бороздников, описанных в гл. VI. Однако мелкие борозды мало пригодны для плодовых садов, разве только для почв грубого механического состава. Окучник среднего размера в процессе работы по изготовлению борозд представлен на рис. 153. В плодовых садах с очень плотными мелкоземистыми почвами с малой проницаемостью для воды проводятся более глубокие борозды, при помощи более крупных окучников, чем представленный на рисунке. Изготовление сравнительно глубо-

ких борозд желательнее также там, где необходимо задержать воду во избежание сброса на нижнем конце борозд, как видно на рис. 154. Расстояние между бороздами можно регулировать путем расположения окучников.

**267. Метод лунок.** Метод лунок, как показывает само название, состоит в устройстве валиков между рядами деревьев в двух взаимно-перпендикулярных направлениях таким образом, чтобы вокруг каждого дерева образовалась лунка. Через каждые два ряда проводится канава для проведения воды к каждой паре прилегающих с двух сторон лунок, как видно на рис. 155. На рисунке 156 представлен метод лунок во время полива в абри-



Рис. 150. Подача воды для полива через бетонные стояки (из Calif. Agr. Exp. Sta. Bull. 253).

косовом саду в долине Санта-Клара в Калифорнии. Хотя валики изготовляются при помощи тяговой силы, однако требуется еще много ручной работы для заделки просветов и скважин в их стыках. Требуется также много ручного труда при поливе для открытия и закрытия боковых валиков канавы. Для большинства почв метод лунок, по всей вероятности, менее пригоден, чем метод полива бороздами. Он еще менее пригоден в тех случаях, когда плодовые сады заняты люцерной, клевером и др. культурными растениями, как это практикуется в горных штатах северной Америки. В некоторых местностях метод лунок имеет широкое применение даже на сравнительно ровных землях с почвами, однородными по механическому составу. Видоизмененный метод лунок применяется в настоящее время при поливе по горизонталям на склонах холмов.

**268. Сроки полива плодовых садов.** Выбор правильных сроков поливов различных плодовых деревьев — вопрос чрезвычайно важный. Некоторые специалисты утверждают, что размер плодов, их окраска и общий урожай, а равно и скорость роста деревьев связаны со сроками полива. Специфической особенностью пло-

довых деревьев, которую надо иметь в виду при изучении сроков поливов, является то, что большинство деревьев поглощает воду из почвы непрерывно в течение лета и зимы. Земли, на которых выращиваются зерновые злаки, сахарная свекла или картофель, поливаются иногда поздно осенью после уборки или ранней весной почти исключительно с целью запасаания воды, которая иначе была бы не использована. В местностях с очень сухим климатом полив перед посевом или посадкой однолетних растений имеет большое значение для их успеш-

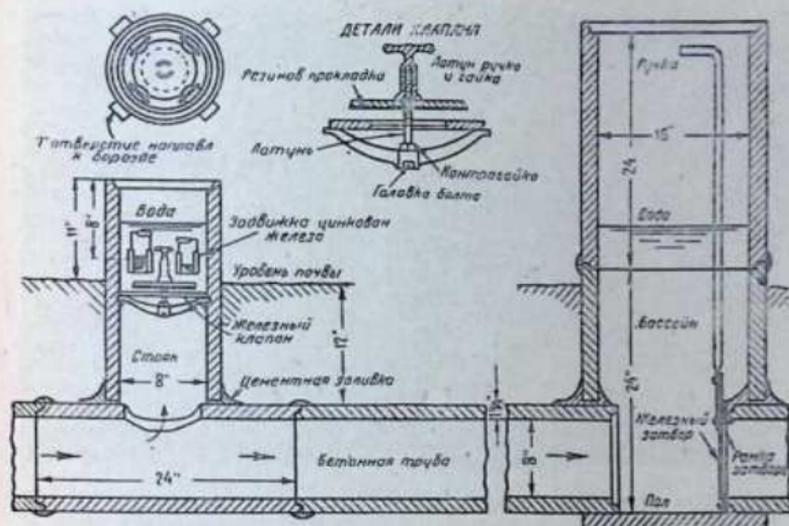


Рис. 151. Чертеж оросительной системы из бетонной водонапорной установки, трубопровода и стояков (из U. S. Dept. Agr. Farmers' Bull. 882).

ного прорастания. Полив плодовых садов в течение периода покоя может служить как в качестве защитного мероприятия для деревьев, так и в целях запасаания воды в почве во избежание ее потери. Таким образом, проблемы, связанные с выбором соответствующих сроков полива, распадаются на две группы, а именно: 1) на проблемы, связанные с поливом в период вегетации, и 2) на те, которые касаются полива во время периода покоя. Эти проблемы до известной степени находятся во взаимной зависимости, так как орошение в период роста обычно влияет и на потребности в течение периода покоя; и, наоборот, режим увлажнения во время периода покоя может оказать влияние на потребности деревьев в период роста.

**269. Орошение во время периода роста.** Деревья должны иметь в своем распоряжении легко доступную влагу во всякое время в течение сезона роста. В местностях со сравнительно обильными летними осадками надо быть осторожным с поливом, чтобы не допустить чрезмерного увлажнения тяжелых плотных почв, на которых обычно выращиваются плодовые деревья. На грубых пористых песчаных или хрящеватых почвах с глубоко заде-

гающей грунтовой водой чрезмерное увлажнение мало или вовсе не угрожает опасностью при обычных приемах орошения. Однако грубые почвы обладают очень низкой влагоемкостью, а поэтому для поддержания постоянного запаса легко доступной для деревьев влаги их необходимо поливать часто, особенно летом или осенью.

Батчелор (Batchelor), работая в 1913 и 1914 гг. по орошению персиков Эльберта на хрящеватой суглинистой почве близ Брайгэм Сити штата Юта, нашел, что дача очень боль-

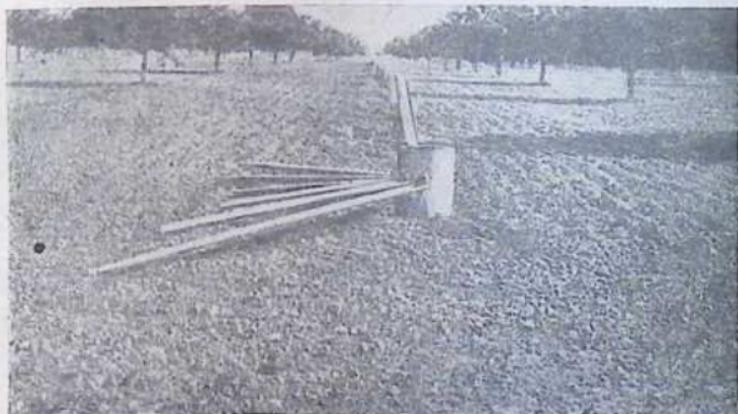


Рис. 152. Сад грецких орехов после полива и рыхления; 6 металлических жолобов на переднем плане показывают расположение во время полива; другие жолоба находятся в положении, занимаемом ими в межполивные периоды (фото автора).

ших количеств воды в июне и в июле, без поливов в дальнейшем, совершенно не обеспечивала получения плодов, удовлетворяющих требованиям рынка. С другой стороны, умеренные нормы полива, заданные в 8 сроков от середины июля и до середины сентября, способствовали получению вполне удовлетворительного урожая плодов.

Тэйлор и Доунинг (Taylor and Downing) в опытах по орошению яблоневых садов на мелкоземистых супесчаных и песчаных почвах в Айдаго, также нашли, что деревья потребляют большие количества воды среди лета и иногда осени, чем в начале летнего сезона, и поэтому поливы в конце июля, в августе и в сентябре чрезвычайно важны для получения удовлетворительного урожая.

Выдающиеся исследования последнего времени отдела исследований и практики орошения Калифорнийского университета подтверждают общее положение, что орошение плодовых садов во время сезона вегетации должно сообразоваться в первую очередь с условиями влажности почвы. Было найдено, что так называемый процент оптимального увлажнения на самом деле

представляет зону влажности почвы в пределах от количества, немного превышающего коэффициент завядания, и до капиллярной полевой влагоемкости. Другими словами, скорость роста деревьев и плодов оказалась по существу константной, не зависящей от изменений во влажности почвы, поскольку имелся надлежащий запас легко доступной влаги. Поэтому число поливов за сезон и их частота определяются условиями, влияющими на поддержание легко доступной влаги в почве.

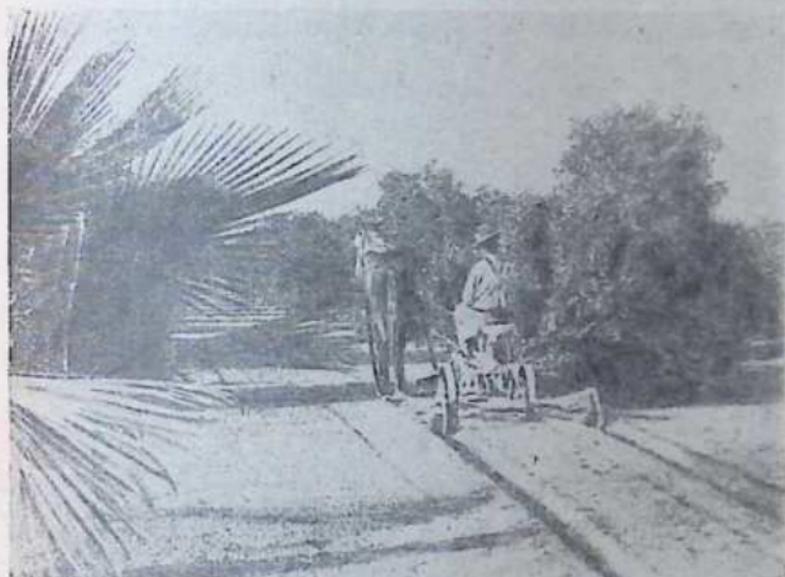


Рис. 153. Поделка борозд в плодовом саду (из U. S. Dept. Agr. Farmers' Bull. 882).

Для иллюстрации приведем следующий пример: Бекетт, Блэней и Тэйлор (Beckett, Blaney and Taylor) нашли, что культура лимона потребила 14,7 акро-дюйма на акр с 1 апреля по 31 октября. В течение мая деревья потребовали менее 1,4", тогда как в течение июля, августа и сентября по 2,5" в месяц. Потребное количество поливной воды было задано в 3 срока: два по 6,4" и один в 6,8", как видно из рис. 157. Данные, указанные в этом рисунке, обнаруживают поразительную регулярность в скорости потребления почвенной влаги в межполивные периоды. Тот факт, что прямолинейные кривые почти в точности совпадают с измеренными процентами влажности, показывает, что скорость потребления воды по существу оставалась одинаковой от момента, когда влажность приближалась к полевой капиллярной влагоемкости вслед за поливом и до момента достижения нижнего предела увлажнения. Основываясь на экспериментальных данных, приведенных на рис. 157, а также и на других наблюдениях, Бекетт, Блэней и Тэйлор приходят к выводу, что «до тех пор, пока влажность почвы держится выше коэффициента завядания, различия в содержа-

нии влаги в почве не оказывают измеримого эффекта на скорость поглощения воды; это значит, что влага одинаково доступна, когда содержание воды в почве находится на любой высоте между полевой капиллярной влагоемкостью и коэффициентом завядания или когда почва насквозь промочена после полива».

На основании обстоятельных исследований орошения персиков в долине Сан-Хоакин в Калифорнии Гендрикссон и Вимейер (Hendrickson and Veihmeyer) пришли к следующим заключениям:

«Добавочные поливы во время периода покоя персика Муир



Рис. 154. Задержка поливной воды для избежания чрезмерного сброса при поливе в Сев. Помоне в Калифорнии.

в Дели не привели к увеличению ни роста деревьев, ни урожая плодов.

«Зимнее орошение персиков Муир в Дели не дало возможности отсрочить время первого весеннего полива.

«Поддержание влажности почвы постоянно выше коэффициента завядания в Дели привело к получению наиболее крупных деревьев.

«Недостаток легко доступной воды, даже за сравнительно короткие промежутки времени, привел к уменьшению роста деревьев в Дели, но не вызвал значительного снижения урожая плодов.

«Недостаток легко доступной воды в течение продолжительного промежутка времени значительно снижал урожай плодов.

«Скорость роста персиков уменьшилась лишь после снижения влажности почвы приблизительно до коэффициента завядания.

«Дача полива незадолго до сбора урожая не приводила к быстрому увеличению размеров плодов.

«Персики с делянок, страдавших вообще недостатком в легко доступной влаге, обладали слегка повышенным процентом саха-

ров и пониженным содержанием воды при расчете на вес свежих плодов, против персиков с постоянно влажных делянок. Результаты 1928 г. показали, что если произвести расчеты сахаров на сухой вес, то получится обратный результат.

«Полив перед сбором плодов не увеличивал содержания в них воды по сравнению с неполитыми.

«Недостаток легко доступной влаги в период затвердения косточки (pit hardening) сильно отражается на размере плодов.

«Крайние различия во влажности почвы не оказали влияния на коэффициент усушки персиков Муир при коммерческой сушке.

«Не наблюдалось различий в лежкости от момента сбора до начала консервирования между персиками, собранными с более увлажненных и с более сухих делянок.



Рис. 155. Схема полива плодового сада методом лунок (из U. S. Dept. Agr. Farmers' Bull. 404).



Рис. 156. Полив абрикосов методом лунок в долине Санта-Клара (фото отдела исследований и практики орошения при Калифорнийском университете).

«Не обнаружилось зимних повреждений персиковых деревьев после осеннего полива.

«В условиях, сходных с теми, которые имелись в различных, приведенных выше, опытах на делянках, безопасным межпо-

ливным периодом в течение наиболее жаркого летнего времени можно признать для Дели три недели, для Станислаус Коунти от трех до четырех недель и для Сэттер Коунти<sup>1</sup> от пяти до шести недель.

«Данные, приведенные в настоящем сообщении, показывают, что коэффициент завядания представляет критическую влажность почвы и приводит к заключению, что деревья либо имеют в своем распоряжении легко доступную влагу, либо не имеют ее вовсе».

Современный уровень достижений научно-исследовательской работы по орошению плодовых садов поддерживает положение,

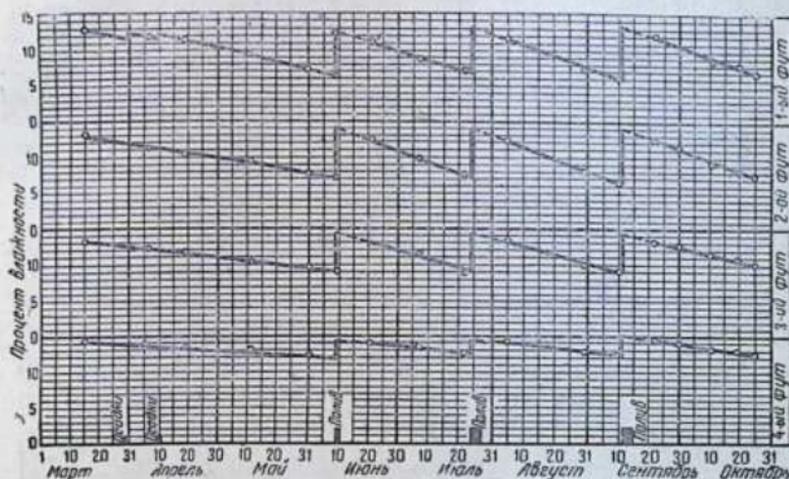


Рис. 157. Сезонные колебания во влажности почвы на делянке под плодовым садом (из Calif. Agr. Exp. Sta. Bull. 489).

что во время сезона вегетации деревья должны постоянно иметь легко доступную влагу. Необходимая частота поливов для поддержания во всякое время легко доступной влаги зависит от влагоемкости садовой почвы, от количества воды, фактически запасенной за каждый полив, и от скорости ее потребления плодовыми деревьями. Для обеспечения деревьев легко доступной влагой следует давать полив до достижения коэффициента завядания. Рис. 158 показывает значительное увеличение скорости потребления воды лимонами с 1 июня по 1 июля, согласно измерениям Бекетт и др. В течение августа, сентября и октября скорость потребления оставалась на одном уровне, примерно около 2,5" (62 мм) в месяц. Для обеспечения этой скорости потребления потребовалось только 3 полива: первый — 10 июня, второй — 25 июля и третий — 11 сентября.

**270. Орошение во время периода покоя.** Возможность сохранения воды и избежание ее потерь путем запасаания ее в почве

<sup>1</sup> Почвы в Дели легкие, песчаные, в Сэттер Коунти почвы обычно более тяжелые.

садов во время периода покоя — это факт, вполне установленный в некоторых районах. Там, где плодовые сады орошаются с целью запасаания и тем самым сохранения воды, следует быть весьма осторожным при поливе во избежание переувлажнения и потерь воды и легко растворимых питательных веществ через просачивание вглубь. В целях избежания чрезмерного увлажнения почвы в период покоя ирригатор плодовых садов может руководствоваться теми сведениями, которые приведены в настоящей книге относительно способности почв поглощать и удерживать в себе поливные воды и относительно величины поливной струи и числа часов полива 1 акра почвы в зависимости от этих способностей. Сравнительное обилие воды в течение сезона покоя обычно приводит к небрежному обращению с ней в это время.

Полив в период покоя, по всей вероятности, не вполне безопасен. В районах с очень холодными зимами следует соблюдать

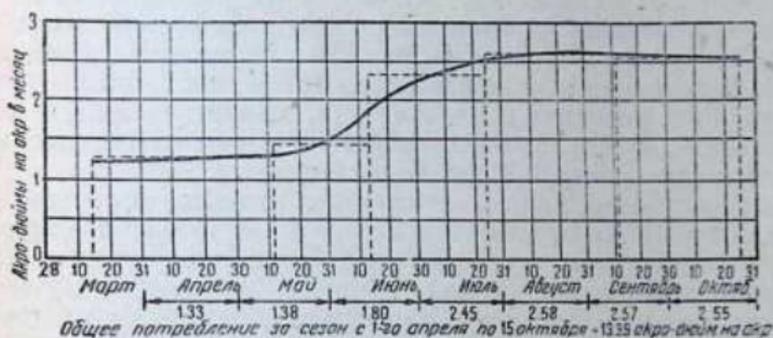


Рис. 158. Сезонное потребление воды плодовыми деревьями в акро-дюймах на акр в месяц (из Calif. Agr. Exp. Sta. Bull. 489).

предосторожности и давать полив плодовым садам лишь после того, как деревья перешли в состояние покоя. В противном случае полив может вызвать поздний рост, который сопровождается зимними повреждениями, связанными с незрелостью. Эта необходимость выжидания полного покоя деревьев до дачи позднего осеннего полива особенно важна в отношении энергично растущих молодых деревьев.

Тэйлор и Доунинг, работая в Айдаго, нашли, что садовые почвы теряли в течение сезона покоя около 2% влаги, несмотря на 100 мм осадков. Почвы, содержавшие наибольшее количество влаги осенью, обычно теряли большее количество в течение сезона покоя.

Бекетт, Блэней и Тэйлор, основываясь более на фактических потребностях в воде деревьев и промежуточных культурных растений, чем на задаче сохранения воды путем полива в период покоя, пришли к заключению, что в Калифорнии, в годы с малым количеством осадков, полив этот является действительно необходимым. В Эскондидо за 25 лет необходимо

было 6 лет давать по два зимних полива, 8 лет по одному поливу и 11 лет не потребовалось их вовсе. Сходные потребности за 45-летний период были обнаружены для района Фольбрук. Вступление деревьев в период покоя при очень низком запасе влаги в почве также представляет некоторую опасность. После обследования зимних поврежденных персиковых садов в Юте Эбел (Abell) пришел к следующим выводам:

«Недостаточное орошение сада было, повидимому, одним из наиболее важных факторов, предрасположившим деревья к гибели. В молодом персиковом саду, не получившем поливов в 1924 г., большинство деревьев погибло... Сад по другую сторону дороги, получавший поливы, оправился.

«Сад персиков и абрикосов на песчаной почве был недостаточно полит в течение лета 1924 г. Деревья на нижних концах рядов не получали поливов с 25 июля. Верхняя часть сада получила два полива после этого срока. Деревья, недостаточно орошенные, не оправились, тогда как те, которые получили 2 поздних полива, оправились сравнительно хорошо, только единичные деревья или ветки посохли следующим летом».

**271. Потребность в поливной воде.** При равных климатических и почвенных условиях плодовые сады, выращиваемые без промежуточных культурных растений и чистыми от сорняков, требуют меньше поливной воды, чем люцерна.

Согласно наблюдениям в межгорных штатах Северной Америки различия в потребностях в воде между зерновыми растениями и плодовыми деревьями невелики; последние требуют только более поздних поливов, тогда как первые успевают вызреть на ранних поливах. В результате зерновые растения и плодовые деревья конкурируют за влагу лишь в течение очень небольшого периода близ середины сезона вегетации, или, другими словами, плодовые сады в основном поливаются после созревания зерновых культурных растений. С другой стороны, сахарная свекла и картофель требуют полива примерно в то же самое время, как и плодовые сады. В одних и тех же почвенно-климатических условиях свекла и картофель, повидимому, нуждаются в несколько большем количестве поливной воды, чем плодовые сады.

**272. Яблони.** Льюис, Краус и Рис (Lewis, Kraus and Rees) в 1912 г. опубликовали отчет об обширных опытах по изучению потребностей в поливе плодовых садов в долине реки Рог в Орегоне, где средние годовые осадки равняются примерно 725 мм. Во время сезона роста с 1 июня по 30 сентября среднее количество осадков равняется 65 мм. Эти исследователи нашли, что потребность в поливной воде яблонь выражается примерно величиной от 3 785 до 13 250 л на дерево за сезон, в зависимости от типа почвы. При обычном расположении деревьев 7,5 на 7,5 м 3 785 л на дерево составит около 64 мм, или 640 м<sup>3</sup> на га. 13 250 л на дерево составит уже почти 224 мм, или 2 240 м<sup>3</sup> на га. Расход воды на потребление деревьями не определялся.

Тэйлор и Доунинг обнаружили потребность в значитель-

ных количествах поливной воды у сортов яблонь Джонатан и Уайнсеп в долине Змейной реки в Айдаго, но эти потребности еще более увеличивались при выращивании промежуточной культуры клевера. На мелкоземистой супеси близ водонадос Туин максимальный урожай и наибольший процент плодов высшего качества были получены при даче 713 мм или 7130 м<sup>3</sup> поливной воды на га, поддерживавших среднюю влажность почвы на уровне 19%. Эти же исследователи нашли, что на песчаной почве 60—90 см глубины, с глубокой песчаной подпочвой, близ Пайетт в Айдаго, наибольшие урожаи плодов получились при даче 900 мм за год. На почвах плодового сада в Пайетт выращивался также в качестве промежуточной культуры клевер.

**273. Персики.** Исследуя потребность в поливе персиков Эльберта на хрящеватых суглинистых почвах около Брайгэм Сити в Юта в 1913 г., Батчелор нашел, что 250 мм или 2500 м<sup>3</sup> воды на га недостаточно для обеспечения удовлетворительного урожая. 6000 м<sup>3</sup> на га дали прибавку более чем на 50% рыночных плодов по сравнению с урожаем, полученным при 2500 м<sup>3</sup>. Практически 12000 м<sup>3</sup> не увеличили урожая рыночных плодов по сравнению с таковым при 6000 м<sup>3</sup>. Количество осадков за период вегетации в 1913 г. составляло несколько более 75 мм, что в 4 раза превышало норму для данной местности.

4 опытных делянки, получивших в 1913 г. в среднем по 2500 м<sup>3</sup> воды, в 1914 г. получили по 3000 м<sup>3</sup>. Одна из делянок получила 4, вторая 6, третья 7 и четвертая — 8 поливов. Ни одна из делянок, получивших только 3000 м<sup>3</sup>, не дала рыночных плодов в 1913 г. Делянки, получившие 7700 м<sup>3</sup>, дали почти такой же большой урожай, как и те делянки, которые получили 15400 м<sup>3</sup>.

Хрящеватая природа почв, на которых Батчелор проводил свои опыты по орошению персиков, исключала возможность применения почвенного бура, и поэтому не было произведено определений расхода воды на потребление у персиковых деревьев. Однако удалось подметить, что часто задаваемые небольшие поливные нормы почти во всех случаях давали лучший результат, чем та же оросительная норма, задаваемая более редкими, но более высокими поливными нормами. Отсюда весьма возможно, хотя непосредственных доказательств к тому и не имеется, что в почвах происходили значительные потери через просачивание вглубь, и количество воды, фактически израсходованной на потребление, было значительно меньше того количества, которое было задано делянкам.

**274. Цитрусовые плантации.** На основании обширных исследований, проведенных в 1926 и 1927 гг., Бекетт, Блэней и Тэйлор пришли к выводу, что цитрусовые плантации с промежуточными культурами в северной части Сан-Диего Коунти в Калифорнии требуют от 200 до 300 мм воды в течение зимнего сезона. Как указывалось выше, зимние потребности этих пород удовлетворяются осадками в годы с нормальным их количеством.

Согласно сообщению этих исследователей, чистая потребность взрослых цитрусовых плантаций в поливной воде выражается цифрами от 3 700 до 4 500 м<sup>3</sup> на га при условии, что продуктивность использования воды равняется примерно 60%. Для деревьев от 6 до 8 лет, достигших примерно от 40 до 50% их конечных размеров, считается вполне достаточной оросительная норма от 1 500—2 000 м<sup>3</sup> на га. В опытах с Сан-Диего Коунти преобладали супесчаные почвы, и лишь на одной ферме в 3,6 га почва была суглинистая. Эквивалент влажности супесчаных почв колеблется в пределах от 10,5 до 15,1% к сухому весу, тогда как для суглинков он равняется около 18,0%.

## ГЛАВА XXII

### ОРОШЕНИЕ В МЕСТНОСТЯХ С ВЛАЖНЫМ КЛИМАТОМ

Орошение в основном является приемом искусственного дополнения естественных осадков. В США процент обрабатываемых земель, на которых орошение является совершенно необходимым для выращивания культурных растений, весьма невелик. Однако даже в местностях с влажным климатом, где культурные растения обычно выращиваются без орошения, осадки не выпадают достаточно равномерно из сезона в сезон и от недели к неделе во время сезона, чтобы обеспечить высокие урожаи. Почвы влажных районов обычно неглубоки и поэтому не способны запасти больших количеств воды для нужд растений. Когда случаются длительные бездождные периоды, рост культурных растений во влажных районах задерживается. Во избежание потерь вследствие пониженных урожаев, обусловленных случайными засухами, а также и в целях обеспечения постоянного и быстрого роста ценных овощей и плодовых культур, сельские хозяйства местностей влажного климата все более и более заинтересовываются вопросом орошения.

**275. Орошение как дополнение к осадкам.** Основным источником воды для всей естественной растительности земного шара являются осадки в форме дождя или снега. Однако, в связи с большой неравномерностью их распределения в различных местностях, обширные пространства земного шара почти бесплодны вследствие недостатка воды. Другие производят растительность лишь во время влажных сезонов и остаются бесплодными в течение недель и месяцев каждого года при таких условиях, при которых растения могли бы расти, если бы вода была доступна. Наконец, имеются такие земли, где в течение теплого сезона в годы с высоким количеством осадков растительность дает высокие урожаи, в годы же с малым количеством осадков эти площади остаются бесплодными и голыми. Орошение, таким образом, является искусственным приемом обеспечения почвы влагой, необходимой для роста растений в местностях и в периоды недостатка осадков. Оросительная норма, необходимая для дополнения осадков, естественно зависит от условий года и местности. Например, в Сан-Диего Коунти в Калифорнии цитрусовые плантации с междурядной культурой потребовали, как указывалось в гл. XXI, 2 зимних полива

в течение 6 лет из 25. В некоторых частях штата Юта зимнее орошение никогда не является существенным, тогда как летние поливы всегда необходимы; и в некоторых частях штата Орегон на тяжелых почвах орошение во влажные годы на плодовые сады совершенно не оказывает благоприятного действия. Поэтому в действительности граница между сухим и влажным климатом в отношении потребностей в орошении весьма неопределенна. Несомненно, что в местностях многих стран, где земледелие обычно всецело зависит от естественных осадков, являющихся источником водоснабжения растений, в некоторые годы урожаи могли бы быть увеличены путем прибавки к доступной почвенной влаге поливной воды, но, конечно, не может быть каких-либо общих правил, определяющих целесообразность пополнения запаса доступной почвенной влаги поливом.

**276. Недостаток в осадках.** В свое время правильно было сказано, что одним из интереснейших явлений в природе является сама изменчивость этих явлений во времени и пространстве. Однообразия в природе нет, и это также относится к осадкам; они постоянно меняются из года в год и из месяца в месяц. Эти изменения имеют самое близкое отношение к земледелию как в восточных, так и в западных штатах. Среднее число бездождных периодов длительностью в одну и более недели в течение вегетационного периода в 7 средне-западных штатах влажного климата представлено в таблице 23, из которой видно, например, что в Мичигане в течение 10 лет, с 1917 по 1926 г., в среднем ежегодно было по 7 бездождных недель. В Айова было по 8 таких периодов; в Висконсине, Миннесоте, Иллинойсе и Индиане — по 6, в Огайо — по 5. Бездождный период, продолжительностью от 2 до 3 недель, случался по два раза в год в Миннесоте и по одному разу в других штатах. Бездождные периоды продолжительностью в 3 недели или более сравнительно редки.

Сходные данные, собранные Вильямсом (Williams), а также установленные Уидсо, показывают, что за 10-летний период, с 1899 по 1909 г., было в несколько раз больше случаев, когда за 15 или более дней выпадало 25 или меньше мм осадков. В Эмс в штате Айова было 3 таких периода; в Ошкоти в штате Висконсин — 27; в Вайнленд в штате Нью-Джерси — 46; в Колумбии в штате Южная Каролина — 62; наконец, в Селина в штате Алабама — 60. Считая, что после 15-дневного периода с количеством осадков в 25 или менее мм полив на самом деле необходим, Уидсо указывает, что число дней за 10-летний период, когда требовалось орошение, колебалось в пределах от 190 в Эмс в штате Айова до 724 в Селина в штате Алабама.

**277. Орошение культур в местностях с влажным климатом.** Орошение в местностях влажного климата до сих пор в общем широко применялось лишь при выращивании ягодных и овощных растений. И в тех хозяйствах, где уже устроена оросительная система, они обычно каждый год получают полив. Земляника особенно хорошо реагирует на полив во время сезона плодоношения.

СРЕДНЕЕ ЧИСЛО БЕЗДОЖДНЫХ ПЕРИОДОВ, ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТЬЮ В ОДНУ ИЛИ БОЛЕЕ НЕДЕЛЬ, В СРЕДНЕ-ЗАПАДНЫХ ШТАТАХ ЗА 10-ЛЕТНИЙ ПЕРИОД

Данные, подготовленные Г. Б. Ро (H. B. Roe)

| Ш т а т                | Продолжи-<br>тельность<br>в неделях | 1917 | 1918 | 1919 | 1920 | 1921 | 1922 | 1923 | 1924 | 1925 | 1926 | Среднее |
|------------------------|-------------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|---------|
| Мичиган                | 1-2 . . . . .                       | 5    | 7    | 4    | 10   | 3    | 9    | 9    | 6    | 7    | 10   | 7       |
|                        | 2-3 . . . . .                       | 2    | 2    | 1    | 1    | 2    | 1    | 1    | 1    | 0    | 1    | 1       |
|                        | 3 и более . . . . .                 | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0       |
| Висконсин              | 1-2 . . . . .                       | 2    | 6    | 4    | 8    | 7    | 10   | 8    | 6    | 4    | 8    | 6       |
|                        | 2-3 . . . . .                       | 2    | 2    | 1    | 1    | 0    | 0    | 1    | 0    | 2    | 1    | 1       |
|                        | 3-4 . . . . .                       | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 1    | 0       |
|                        | 4 и более . . . . .                 | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 1    | 0    | 0       |
| Миннесота              | 1-2 . . . . .                       | 4    | 5    | 5    | 8    | 5    | 6    | 5    | 3    | 7    | 9    | 6       |
|                        | 2-3 . . . . .                       | 2    | 1    | 1    | 1    | 1    | 2    | 3    | 1    | 2    | 1    | 2       |
|                        | 3 и более . . . . .                 | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0       |
| Айова                  | 1-2 . . . . .                       | 7    | 6    | 4    | 9    | 7    | 12   | 8    | 7    | 8    | 12   | 8       |
|                        | 2-3 . . . . .                       | 1    | 2    | 1    | 0    | 0    | 0    | 1    | 1    | 2    | 1    | 1       |
|                        | 3 и более . . . . .                 | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0       |
| Иллинойс               | 1-2 . . . . .                       | 6    | 7    | 3    | 5    | 3    | 8    | 6    | 5    | 7    | 5    | 6       |
|                        | 2-3 . . . . .                       | 0    | 1    | 1    | 1    | 1    | 0    | 0    | 0    | 1    | 1    | 1       |
|                        | 3-4 . . . . .                       | 0    | 0    | 0    | 1    | 0    | 1    | 1    | 0    | 1    | 0    | 0       |
|                        | 4 и более . . . . .                 | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0       |
| Индиана                | 1-2 . . . . .                       | 8    | 5    | 2    | 7    | 4    | 7    | 9    | 6    | 6    | 6    | 6       |
|                        | 2-3 . . . . .                       | 1    | 3    | 1    | 0    | 1    | 0    | 0    | 1    | 0    | 2    | 1       |
|                        | 3-4 . . . . .                       | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 1    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0       |
|                        | 4 и более . . . . .                 | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0       |
| Огайо                  | 1-2 . . . . .                       | 5    | 6    | 5    | 4    | 5    | 6    | 7    | 5    | 6    | 5    | 5       |
|                        | 2-3 . . . . .                       | 1    | 0    | 0    | 1    | 0    | 1    | 1    | 1    | 0    | 1    | 1       |
|                        | 3-4 . . . . .                       | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0       |
|                        | 4 и более . . . . .                 | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0       |
| Среднее из<br>7 штатов | 1-2 . . . . .                       | 5    | 6    | 4    | 7    | 5    | 8    | 7    | 5    | 6    | 8    | 6       |
|                        | 2-3 . . . . .                       | 1    | 2    | 1    | 1    | 0    | 1    | 1    | 1    | 1    | 1    | 1       |
|                        | 3 и более . . . . .                 | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0       |

В отношении плодовых садов в местностях влажного климата следует сказать, что почвы земель, занятых ими, могут и не нуждаться в поливе ежегодно, как это имеет место в отношении ягодных и овощных растений, но уменьшения урожаев в сравнительно сухие годы в некоторых штатах влажного климата требуют затрат на организацию оросительной системы и вполне их оправдывают. В Виргинии, например, где в среднем за год выпадает 41,6" (1 040 мм), или 3,5" (87 мм) в месяц, за 30-летний период, от 1900 г. до 1929 г., было 10 лет, когда среднее количество месячных осадков в июле, августе и сентябре равнялось всего 2" (50 мм). Согласно проф. Чарльзу Зейтцу (Charles Seitz), для максимальных урожаев плодовые сады в Виргинии в течение этих важных для деревьев месяцев требуют по 6" (150 мм) в месяц.

**278. Результаты опытов по орошению.** В продолжение целой трети столетия в различных местностях с более влажным климатом в США, а также и в других странах, проводится ряд исследований по изучению влияния орошения на урожай различных культурных растений.

В Нью-Джерси нашли, что ежевика, малина, смородина, крыжовник и другие ягодные растения весьма благоприятно реагируют на орошение в годы с низким количеством или неравномерным распределением осадков. Также и в Коннектикуте давно уже нашли, что земляника дает значительно более крупные урожаи при снабжении поливной водой. Сходные результаты были получены Кингом (King) в Висконсине при изучении влияния полива на картофель, капусту, кукурузу, клевер, землянику и зерновые злаки. Прежние исследования по орошению в Южной Дакоте обнаружили заметное увеличение урожая целого ряда культурных растений при орошении. На Гавайских островах при количестве годовых осадков около 50" (1 250 мм) орошение увеличивало урожай сахарного тростника.

Лори (Logee) в опытах по дождеванию в Мичигане нашел, что при орошении урожай лука увеличивался на 233%, свеклы на 86%, моркови на 66%, латука на 60% и ранней капусты примерно на 100%. Из этих опытов выяснилось, что улучшалось и качество овощей и что при орошении была возможна более интенсивная культура при меньшем рыхлении, чем без орошения.

**279. Размеры орошаемой площади в восточных штатах.** Согласно оценке комиссии американского общества агроинженеров, в 1931 г. в 7 средне-западных штатах, включенных в таблицу 23, около 6 000 акров (2 400 га) получают дополнительное орошение. Эта же комиссия считает, что в этих 7 штатах можно с выгодой дать дополнительное орошение еще на 145 000 акрах (58 000 га) в целях поддержания в периоды бездождия различных культурных растений в критические фазы максимального роста и налива, а также в качестве меры страховки против несвоевременных заморозков. Групповая оценка была произведена также для следующих штатов: Делавар, Пенсильвания, Нью-Йорк, Мэриленд, Нью-Джерси, Коннектикут, Массачусетс

и Род-Айленд. Предполагают, что в настоящее время в этих штатах орошение получает площадь примерно в 5000 акров (2000 га), но что благоприятный эффект от орошения можно получить еще дополнительно на 10 000 акрах (4000 га). Районы влажного климата, где сейчас имеются площади, получающие дополнительное орошение, и в которых орошение, по всей вероятности, будет еще расширено, имеются в восточной Небраске, Канзасе, Оклахоме, Техасе и в частях Монтаны, Айдаго, западного Вашингтона, Орегона и в северо-западной Калифорнии.

**280. Источники воды для орошения.** Во влажных районах США вода для орошения добывается преимущественно из следующих четырех источников: а) подземных или грунтовых вод; б) ручьев, рек и прудов; в) городских водопроводных систем; г) городских сточных систем. Для добывания воды из колодезев, а часто также из прудов и озер, применяются фермерские насосные установки. Исключая относительно небольшие количества воды, получаемые из сточных систем, примерно около 60% оросительных вод средне-западных штатов добываются из надземных источников. Во влажных районах сооружаются большие водные резервуары для обеспечения пищевых потребностей и промышленных нужд больших городов, но для целей орошения таких резервуаров не имеется, так же как и не имеется там больших отводных шлюзов и каналов.

**281. Методы орошения в восточных штатах.** Несколько методов орошения было описано в гл. V. Во влажных районах США довольно широко применяется дождевание. Этот метод вполне удовлетворителен для ягодных культур, как, например, земляники и для овощей. Однако для плодовых садов и полевых растений, особенно таких, которые выращиваются рядами и поэтому могут быть легко поливаемы методом борозд, стоимость дождевания оказывается слишком велика, и предпочтительным признается полив по бороздам, вполне оправдывающий расходы увеличением урожая. Метод полива по бороздам широко применяется при орошении спаржи. Метод затопления редко применяется, за исключением только таких специальных культур, как культура риса. Весьма возможно, что методы полива по бороздам и затоплением будут более широко применяться, когда с ними лучше освоятся. Для торфяных почв, какие встречаются в некоторых районах, расположенных близ Великих озер, возможно, что метод подземного орошения даст наилучшие результаты.

**282. Количества потребной воды.** Оросительная норма, потребная во влажных районах для той или иной культуры, в большей степени зависит от частоты дождей и месячного количества осадков во время вегетационного сезона, чем от годового количества их. Поэтому оросительные нормы во влажных районах варьируют из года в год в соответствии с осадками за вегетационный период. Почвы районов влажного климата относительно менее глубоки, чем почвы засушливых районов, и поэтому почвы одного и того же механического состава и структуры во влажных районах запасают в период покоя за

счет зимних осадков меньшее количество почвенной влаги для использования ее в период вегетации. Также и количество воды, которое может быть запасено от сильных дождей во время вегетации во влажных районах меньше, чем то количество, которое может быть запасено на более мощных почвах засушливых районов от одного полива. Принимая во внимание, что почвы засушливых районов от одного полива увеличивают в среднем влажность примерно на 6% к сухому весу почвы и что (если орошаемая почва была уже до некоторой степени увлажнена до полива) увеличение  $P_{10}$  будет значительно меньше чем 6%, возможно учесть глубину проникания влаги от легкого дождевания. Например, если влажность почвы увеличивается 0,5-дюймовым (12,5 мм) дождеванием на 4%, из уравнения (42) следует, что глубина смоченной почвы равняется 9,6" (24 см) при условии, что кажущийся удельный вес почвы ( $A_s$ ) равняется 1,3. Поэтому очевидно, что если желательнее увлажнить только несколько дюймов почвы, достаточно дробной части дюйма воды. Митчелл и Штебнер (Mitchell and Staebner) считают, что дождевальная установка должна быть достаточно велика и водоснабжение таково, чтобы обеспечить слой воды глубиной по крайней мере в 1" (25 мм) в неделю. Согласно Вилльямсу (Williams) глубина, не превышающая  $\frac{1}{4}$ " (6 мм), считается достаточной для смачивания посевных гряд и для молодых овощей. Для земляники и для молодых плодовых садов от 0,5 до 1" (12,5—25 мм) поливной воды считается даже обильным количеством. Что же касается сезонных потребностей, то Вилльямс считает, что овощные растения во влажных районах не потребляют более 6" (150 мм), а часто вполне достаточно и 4" (100 мм) для дополнения осадков.

Важно отметить, что приведенные выше оценки сделаны на основании метода распределения воды дождеванием, который позволяет применять более мелкие нормы, чем другие методы полива. На землях западных штатов очень трудно задать меньше 1,5 или 2,0" (37—50 мм или 370—500 м<sup>3</sup>) за один полив методами полива по бороздам или напуском.

Во время своих исследований потребности в воде плодовых садов в Виргинии (еще не опубликованных) проф. Зейтц встретился с многими садоводами, которые очень широко демонстрировали успешные результаты орошения плодовых садов. Некоторые из лучших плодовых садов Виргинии на более легких почвах требуют от 3 до 4" (75—100 мм) в месяц от июля по сентябрь, т. е. в месяцы максимального потребления воды. В общем же во влажных районах требуется значительно меньшее количество воды, чем в сухих районах.

**283. Использование сточных вод.** В странах Старого Света использование сточных вод для ирригации приобретает все большее значение. Это не только дает возможность обрабатывать некоторые земли, которые в противном случае остались бы неиспользованными, но и содействует потреблению значительных количеств ценных для растения питательных веществ.

Ундсо обращал внимание на то, что сточные воды во мно-

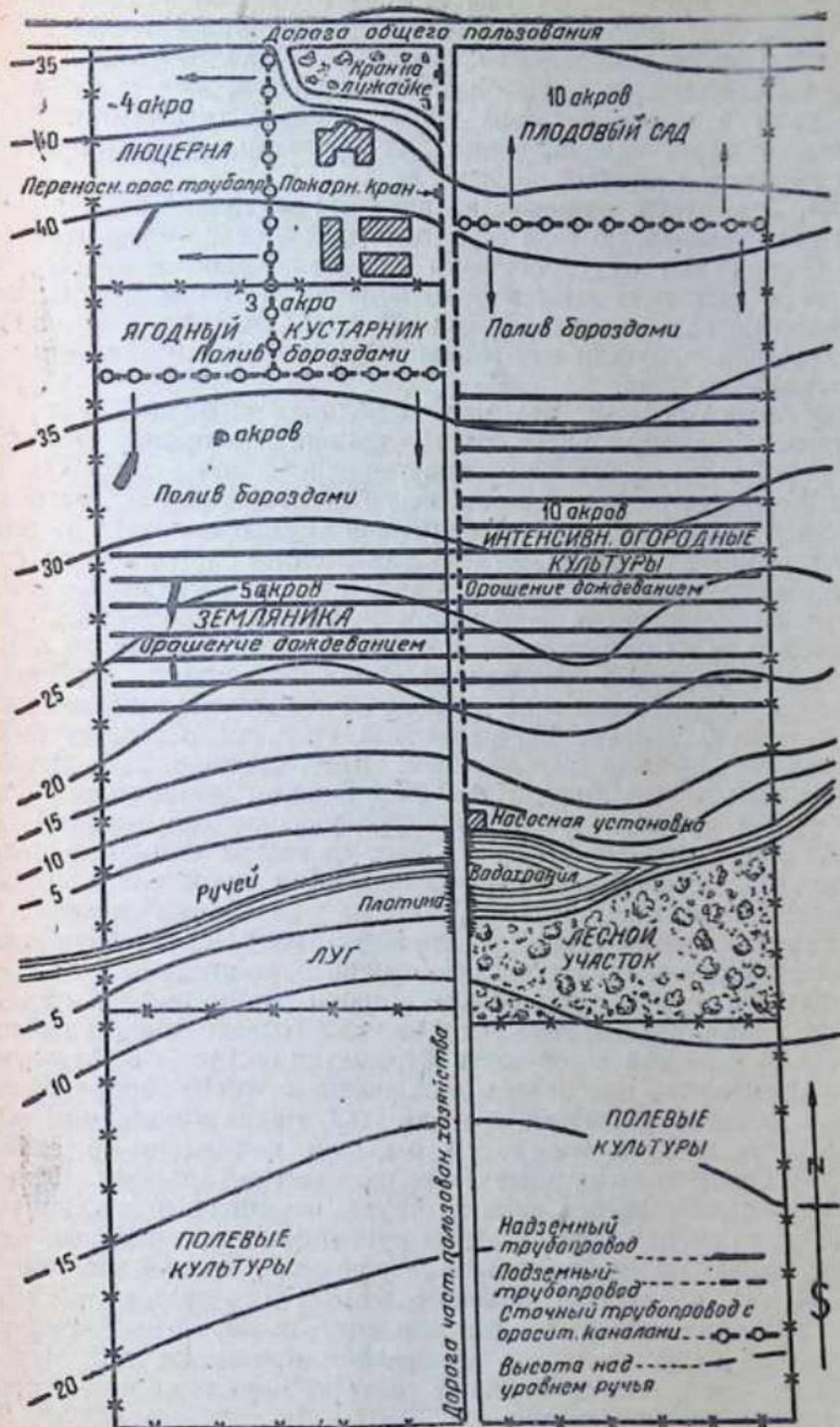


Рис. 159. Типовой план фермы в 80 акров во влажном районе. Снабжение водой из резервуара и комбинированное применение методов полива по поверхности и дождеванием, обслуживаемых одной насосной установкой.

гих странах применялись уже издавна с самыми удовлетворительными результатами. Предубеждения, поддерживаемые некоторыми лицами, относительно того, что орошение земель при помощи сточных вод вредно для здоровья тех, кто потребляет продукты с этих земель, не имеют никаких оснований. Продукты с ферм, использующих для орошения сточные воды, потреблялись человеком десятки лет.

**284. Будущность орошения во влажных районах.** Орошение во влажных районах, по всей вероятности, будет расширяться по мере того, как будут осознаны его возможности и выгоды. Фермеры восточных штатов отдадут предпочтение методам дождевания перед методами дачи воды по поверхности путем полива по бороздам, напуском или затоплением, широко применяемыми в западных штатах.

Штебнер показал, что методы полива по бороздам и напуском, которые так широко распространены в западных штатах, могут быть без особых затруднений приспособлены и для условий восточных штатов. Весьма вероятно, что более широкое распространение сведений относительно осуществимости и техники орошения обычными методами полива по поверхности в условиях влажного климата приведет к постепенному расширению оросительной мелиорации во влажных районах.

Фермер не может допускать потерь больших количеств воды через поверхностный сток или просачивание вглубь, особенно там, где оросительная вода добывается путем накачивания на значительные высоты. Поверхностный сток легко может быть обнаружен простым наблюдением, просачивание же вглубь может быть учтено лишь путем обследования почвенных слоев на разной глубине, которые требуют увлажнения, выяснения количества воды, которая может быть удержана почвой за один полив, и соответственным регулированием количества воды, задаваемого за каждый полив. Методы дождевания позволяют продуктивно использовать оросительную воду. Для орошения таких, например, культур, как овощные и ягодные, методы дождевания будут также более широко применяться, когда будут лучше поняты выгоды орошения. Бывает иногда целесообразно снабжать водой часть фермы для полива по бороздам, а другие части — для полива дождеванием путем сооружения одной насосной установки. На рис. 159 представлен типовой план, составленный Вилльямсом, для фермы в 80 акров (32 га). Согласно этому плану, предполагается орошать дождеванием наиболее интенсивные культуры овощных и землянику, тогда как другие овощи, ягодные кустарники и плодовый сад будут орошаться методом полива по бороздам. Применение методов полива, специально приспособленных к нуждам тех или иных культурных растений и к условиям почвы и топографии, несомненно будет поощрять расширение орошения как мероприятия, позволяющего избежать потерь, обусловленных длительными периодами засухи.

## ЛИТЕРАТУРА

### К ГЛАВЕ I

- Baker, Donald M., and Conkling, Harold. Water Supply and Utilization. John Wiley and Sons, New York. 1930.
- Etcheverry, B. A. Irrigation Practice and Engineering. Vol. I, Use of Irrigation Water, McGraw-Hill Book Co., New York. 1915.
- Forrier, Samuel. Use of Water in Irrigation, McGraw-Hill Book Co., New York. 1926.
- Mead, Elwood. Irrigation Institutions, The Macmillan Co., New York. 1903.
- Thomas, George. The Development of Institutions under Irrigation, The Macmillan Co., New York. 1920.
- Widtsoe, John A. Principles of Irrigation Practice, The Macmillan Co., New York. 1915.
- Widtsoe, John A. Success on Irrigation Projects, John Wiley and Sons, New York. 1928.

### К ГЛАВЕ II

- Baker, Donald M., and Conkling, Harold. Water Supply and Utilization, John Wiley and Sons, New York. 1930.
- Clyde, George D. Establishing Snow Courses and Making Snow Surveys, Utah Agr. Exp. Sta. Cir. 91. 1930.
- Etcheverry, B. A. Irrigation Practice and Engineering. Vol. II, Conveyance of Water, McGraw-Hill Book Co., New York. 1916.
- King, Horace Williams. Handbook of Hydraulics, second edition, McGraw-Hill Book Co., New York. 1929.
- Scobey, Fred C. The Flow of Water in Irrigation Channels. U. S. Dept. Agr. Bul. 194, 68 p. Illus. 1915 (Reprinted 1924).
- Scobey, Fred C. The Flow of Water in Wood Stave Pipe. U. S. Dept. Agr. Bul. 376, 96 p. Illus. 1916 (Revised 1926).
- Scobey, Fred C. The Flow of Water in Concrete Pipe. U. S. Dept. Agr. Bul. 852, 100 p. Illus. 1920.
- Scobey, Fred C. The Flow of Water in Riveted Steel and Analogous Pipes. U. S. Dept. Agr. Bul. 150, 136 p. Illus. 1930.

### К ГЛАВЕ III

- Adams, Frank, et al. Some Measuring Devices used in the Delivery of Irrigation Water, California Agr. Exp. Sta. Bul. 247. 1915.
- Clyde, George D. Measurement of Irrigation Water, Utah Agr. Exp. Sta. Cir. 77. 1929.
- Cone, V. M. The Colorado Statute Inch and Some Miner's Inch Measuring Devices, Colorado Agr. Exp. Sta. Bul. 207. 1915.
- Cone, V. M. Divisors for the Measurement of Irrigation Water, Colorado Agr. Exp. Sta. Bul. 228. 1917.
- Israelsen, O. W. Practical Information on the Measurement of Irrigation Water, Utah Agr. Exp. Sta. Cir. 36. 1919.
- King, H. W. Handbook of Hydraulics, second edition, McGraw-Hill Book Co., Inc., New York. 1929.
- Lyman, Richard R. Measurement of Flowing Streams, Utah Engineering Exp. Sta. Bul. 5. 1912.

- Parshall, Ralph L. The Improved Venturi Flume. Colorado Exp. Sta. Bul. 336. 1928.
- Parshall, Ralph L. Measuring Water in Irrigation Channels. U. S. Dept. Agr. Farmer's Bul. 1683. 1932.
- Steward, W. G. The Measurement of Water. — A Handbook for Ditch Riders and Water Users, Idaho Agr. Exp. Sta. Bul. 127. 1922.
- Wadsworth, H. A. Measurement of Irrigation Water on the Farm. California Agr. Exp. Sta. Cir. 250. 1922.
- Wright, C. C. Units of Measurement and the Application of Irrigation Water, Washington Agr. Exp. Sta. Popular Bul. 145. 1929.

#### K T J I A B E IV

- Bixby, F. L. Tests of Deep-Well Turbine Pumps, Reprint, Journ. Agr. Research, v. 31, No. 3 August 1, 1925.
- Bixby, F. L., and Hardman, George. The Development of Water Supplies for Irrigation in Nevada by Pumping from Sources, Nevada Agr. Exp. Sta. Bul. 112. 1928.
- Code, W. E. Suggestions Concerning Small Irrigation Pumping Plants, Colorado Agr. Exp. Sta. Bul. 350. 1 29.
- Ewing, Paul A. Pumping from Wells for Irrigation, U. S. D. A. Farmer's Bul. 1404. 1924.
- Etcheverry, B. A., and Harding, S. T. The Selection and Cost of Small Pumping Plant, California Agr. Exp. Sta. Cir. No. 117. 1923.
- Johnston, C. N. Principles Governing the Choice, Operation, and Care of Small Irrigation Pumping Plants, California Agr. Exp. Sta. Cir. 312. 1928.
- Johnston, Clarence T. Egyptian Irrigation, U. S. D. A., O. E. S. Bul. 139. 1903.
- Powers, W. L. The Economic Limit of Pumping for Irrigation, Oregon Agr. Exp. Sta. Bul. 235. 1 28.
- Schwalen, Harold C. The Stove Pipe, or California Method of Well Drilling as Practiced in Arizona, Arizona Agr. Exp. Sta. Bul. 112. 1925.
- Smith, G. E. P. Motor Driven Irrigation Pumping Plants and the Electrical District, Arizona Agr. Exp. Sta. Bul. 99. 1924.
- Weir, Walter W. Effect of Pumping from Deep Wells on the Ground-water Table, Jour. Agr. Research. v. 34, 663—672. 1927.

#### K T J I A B E V

- Fortier, Samuel. Irrigation requirements of the Arable Lands of the Great Basin, U. S. D. A. Dent. Bul. 1340. 1925.
- Fortier, Samuel. Practical Information for Beginners in Irrigation, U. S. D. A. Farmers' Bul. 864. 1917.
- Fortier, Samuel. The Border Method of Irrigation, U. S. D. A. Farmers' Bul. 1243. 1 27.
- Fortier, Samuel. Irrigation Practices in Growing Alfalfa, U. S. D. A. Farmers' Bul. 1630. 1930.
- Huber, H. F., Gross, E. R., and Lucas, D. B. Sprinkling Irrigation on Vegetable Farms in New Jersey, New Jersey Agr. Exp. Sta. November, 1927.
- Huberty, M. R., and Brown, J. B. Irrigation of Orchards by Contours, California Agr. Ext. Service Circ. 16. 1 28.
- Marr, James C. The Corrugation Method of Irrigation, U. S. D. A. Farmers' Bul. 1348. 1923.
- Mitchell, Geo. A., and Staebner, Frederic E. Spray Irrigation in the Eastern States, U. S. D. A. Farmers' Bul. 1529. 1927.
- Parker, Philip A. Morley. The Control of Water, D. Van Nostrand Co., New York. 1915.
- Staebner, F. E. Surface Irrigation in the Eastern States, U. S. D. A. Farmers' Bul. 1635. 930.
- Wadsworth, H. A. Irrigation by Overhead Sprinkling, California Agr. Ext. Service Circ. 4. 1926.
- Williams, Milo B. Spray Irrigation, U. S. D. A. Bul. 495. Feb. 14, 1917.

## R FJABE VII

- Hilgard, E. W. *Soils*, The Macmillan Co., New York. 1918.
- Harris, F. S., and Robinson, J. S. Factors Affecting the Evaporation of Moisture from the Soil, *Jour. Agr. Research*, v. 7, No. 10, 439-461. 1916.
- Israelsen, O. W. Studies on Capacities of Soils for Irrigation Water, and a New Method of Determining Volume Weight, *Jour. Agr. Research*, v. 13, No. 1. 1918.
- Lyon, T. Lyttleton, and Buckman, Harry O. *The Nature and Properties of Soils*, The Macmillan Co., New York. 1922.

## R FJABE VIII

- Christensen, Oswald. An Index of Friability of Soil, *Soil Sci.*, v. 29, No. 2: 119-135. 1930.
- Gardner, Willard. Capillary Moisture-holding Capacity, *Soil Sci.*, v. 7, No. 4. 1919.
- Gardner, Willard. The Capillary Potential and its relation to Soil Moisture Constants, *Soil Science*, v. 10, No. 5. 1920.
- Keen, Bernard A. A Note on the Capillary Rise of Water in Soils, *Jour. Agr. Sci.*, v. 9: 396. 1919.
- Lee, Charles H. Water Resources of a Part of Owens Valley, California, U. S. G. S., Water Supply Paper, No. 294. 1912.
- Linford, Leon B. Soil Moisture Phenomena in a Saturated Atmosphere, *Soil Sci.*, v. 29 No. 3: 227-236. 1930.
- Linford, Leon B. The Relation of Light to Soil Moisture Phenomena, *Soil Sci.*, v. 22, No. 3: 233-251. 1926.
- McLaughlin, W. W. The Capillary Distribution of Moisture in Soil Columns of Small Cross Section, U. S. D. A. Dept. Bul. 1221. 1924.
- Richards, Lorenzo A. The Usefulness of Capillary Potential to Soil-Moisture and Plant Investigators, *Jour. Agr. Research*, v. 37, No. 12. 1928.
- Russel, J. C., and Burr, W. W. Studies on the Moisture Equivalent of Soils, *Soil Sci.*, v. 19, No. 4: 251-266, Fig. 9. 1925.
- Scofield, Carl S. The Effect of Absorption by Plants on the Concentration of the Soil Solution, *Jour. Agr. Research*, v. 35, No. 8: 745-756. 1927.
- Veihmeyer, F. J., Oserkowsky, J., and Tester, K. B. Some Factors Affecting the Moisture Equivalent of Soils, *Proc. and Papers of the First International Congress of Soil Sci.*, June 13-22, 1927, v. 1: 1-23. 1927.
- Veihmeyer, F. J., Israelsen, O. W., and Conrad, J. P. The Moisture Equivalent as Influenced by the Amount of Soil Used in its Determination, *California Agr. Exp. Sta. Tech. Paper* 16: 1-60. Figs. 1-9, pl. 1. 1924.
- Wildson, V. H. Studies in Soil Moisture, *India Dept. Agr. Mem. Chem. Series* 6, No. 3: 155-186, pls. 5, Figs. 6. 1921.

## R FJABE IX

- Cosby, Stanley W. A. General Purpose Soil Auger and its Use on the Farm, U. of Calif. Agr. Exp. Sta. Cir. 306. May, 1926.
- Gardner, Willard. Capillary Moisture-holding Capacity, *Soil Sci.*, v. 7, No. 4: 319-324. 1919.
- Israelsen, O. W. Studies on Capacities of Soils for Irrigation Water, and a New Method of Determining Volume Weight, *Jour. Agr. Research*, v. 13, No. 1: 1-35. 1918.
- Israelsen, O. W., and West, Frank L. Water-holding Capacity of Irrigated Soils, *Utah Agr. Exp. Sta. Bul.* 183: 1-24, Figs. 1-7. 1922.
- Israelsen, Orson W. The Application of Hydrodynamics to Irrigation and Drainage Problems, *Hilgardia*, v. 2, No. 14, *Calif. Agr. Exp. Sta.* 1927.
- McLaughlin, W. W. The Capillary Distribution of Moisture in Soil Columns of Small Cross Section, U. S. D. A. Bul. 1221, Figs. 1-7. 1924.
- Scofield, Carl S., and Wright, Coulsen C. The Water Relations of Yakima Valley Soil, *Jour. Agr. Research*, v. 37, No. 2. 1928.
- Taylor, C. A., and Blaney, Harry F. An Efficient Soil Tube Jack, *Soil Sci.*, v. 27, No. 5. 1929.
- Veihmeyer, F. J. An Improved Soil-Sampling Tube, *Soil Sci.*, v. 27, No. 2: 147-152. 1929.

Veihmeyer, F. J. and Hendrickson, A. H. The Moisture Equivalent as a Measure of the Field Capacity of Soils. *Soil Sci.*, v. 32, No. 3. 1931.

#### K T J A B E X

- Buckingham, Edgar. Studies on the Movement of Soil Moisture, U. S. D. A. Bur. Soils, Bul. 38:1-61, Figs. 1-23. 1907.
- Gardner, Willard. The Movement of Moisture in Soil by Capillarity, *Soil Sci.*, v. 7, No. 4:313-316. 1919.
- Gardner, Willard. A Capillary Transmission Constant and Methods of Determining it Experimentally, *Soil Sci.*, v. 10, No. 2:103-126. 1910.
- Gardner, Willard, and Widtsoe, J. A. The Movement of Soil Moisture, *Soil Sci.*, v. 11:215-232, Figs. 1-11. 1921.
- Gardner, Willard, Israelsen, O. W. and McLaughlin, W. W. The Drainage of Land Overlying Artesian Basins, *Soil Sci.*, 26, No. 1:33-45. 5 1928.
- Israelsen, Orson W. The Application of Hydrodynamics to Irrigation and Drainage Problems, *Hilgardia*, v. 2, No. 14. 1927.
- Israelsen, O. W. Coordination of Research Concerning the Flow of Water in Soils, *Jour. Agr. Engineering*, v. 12, No. 12. 1931.
- Meinzer, Oscar E. Outline of Ground Water Hydrology, U. S. G. S. Water-Supply Paper 494. 1923.
- Richards, Lorenzo A. The Usefulness of Capillary Potential to Soil-Moisture and Plant Investigators, *Jour. Agr. Research*, 37, No. 12:719-741. 1928.
- Richards, L. A. Capillary Conduction of Liquids Through Porous Media, *Physics*, vol. 1, No. 5. 1931.
- Slichter, Charles S. Theoretical Investigations of the Motion of Ground Water, U. S. G. S. 19-th Ann. Rept. 2:301-380. 1898.
- Stearns, Norah Dowell. Laboratory Tests on Physical Properties of Waterbearing Materials. Part F, U. S. G. S. Water-Supply Paper 596. 1927.
- Trullinger, R. W. Progress in the Study of Soil Hydromechanics Rpt on the Agr. Exp. Stations, 87-96. 1927.
- Widtsoe, John A. and McLaughlin, W. W. The Movement of Water in Irrigated Soils, *Utah Agr. Exp. Sta. Bul.* 115:199-268, Fig. 1, pls. 6. 1912.

#### K T J A B E XI

- Bloodgood, Dean W. Drainage in the Mesilla Valley of New Mexico, *New Mexico Agr. Exp. Sta. Bul.* 129. 1921.
- Botkin, C. W. A Study of Alkali and Plant Food Under Irrigation and Drainage, *New Mexico Agr. Exp. Sta. Bul.* 136 (technical). 1923.
- Burgess, P. S. Alkali Soil Studies and Methods of Reclamation, *Arizona Agr. Exp. Sta. Bul.* 123. 1928.
- De Sigmund, Dr. Alexius A. J. Hungarian Alkali Soils and Methods of Their Reclamation, *California Agr. Exp. Sta. Special Publication*. 1927.
- Gardner, Willard, and Harris, F. van. Effect of Replaceable Sodium on the Physical Character of Alkali Soils, Reprint. *Utah Academy of Sciences Proceedings*. 1930.
- Harris Franklin Stewart, *Soil Alkali—Its Origin, Nature and Treatment*, John Wiley and Sons, Inc. 1920.
- Johnston, W. W., and Powers, W. L. A Progress Report of Alkali Land Reclamation Investigation in Eastern Oregon, *Oregon Agr. Exp. Sta. Bul.* 210. 1924.
- Kelley, W. P., and Thomas, E. E. Reclamation of the Fresno Type of Black Alkali Soil, *California Agr. Exp. Sta. Bul.* 455. 1928.

#### K T J A B E XII

- Alway, F. J., and McDole, G. R. Relation of Movement of Water in a Soil to its Hygroscopicity and Initial Moistness, *Jour. Agr. Res.*, 10:391-428. 1947.
- Briggs, L. J., and Shantz, H. L. The Water Requirement of Plants, U. S. D. A. Bur. Plant Ind. Buls. 184 and 285. 1913.

- Briggs, L. J., Jensen, C. A., and McLane, J. W. The Mulched-basin System of Irrigated Citrus Culture and its Bearing on the Control of Mottle-leaf, U. S. D. A., Dept. Bul. 499. 1917.
- Call, L. E., and Sewell, M. C. The Soil Mulch, Jour. Am. Soc. Agron., 9:49-61. 1917.
- Conrad, J. P., and Veihmeyer, F. J. Root Development and Soil Moisture, Hilgardia, 4:113-134. May, 1929.
- Garris, F. S., and Turpin, H. W. Movement and Distribution of Moisture in Soil, Jour. Agr. Res., 10:113-153. 1917.
- Harris, F. S., and Yao, H. H. Effectiveness of Mulches in Preserving Soil Moisture, Jour. Agr. Res., 23, No. 9:727-742, Figs. 5. 1923.
- Kiesselbach, T. A. Transpiration as a Factor in Crop Production, Nebraska Agr. Exp. Sta. Research Bul. No. 6. 1916.
- King, E. H. Soil Management, Orange Judd Co., New York, 1-303. 1914.
- McCall, M. A. The Soil Mulch in the Absorption and Retention of Moisture, Jour. Agr. Res., 30, No. 9:819-831. 1925.
- McLaughlin, W. W. Capillary Movement of Soil Moisture, U. S. D. A. Bul. 835:1-69. 1920.
- Richardson, A. E. V. Trans. Ratio of Wheat at Different Stages of Growth, Australian Assoc. Adv. Sci. Rpt. 17. 1924.
- Shaw, Chas. F. When the Soil Mulch Conserves Moisture, Jour. Am. Soc. Agron., 21, No. 12. 1929.
- Smith, Alfred. Effect of Mulches on Soil Temperatures During the Warmest Week in July, 1925, Hilgardia, 2, No. 10:385-397. 1927.
- Thom, C. C. and Holtz, H. F. Factors Influencing the Water Requirements of Plants. Wash. Agr. Exp. Sta. Bul. 116. 1917.
- Veihmeyer, Frank J. Some Factors Affecting the Irrigation Requirements of Deciduous Orchards, Hilgardia, 2, No. 6. 1927.
- Widtsoe, J. A. The Production of Dry Matter with Different Quantities of Irrigation Water, Utah Agr. Exp. Sta. Bul. 116. 1916.

#### R F J I A B E X I I I

- Batchelor, L. D. Irrigation of Peaches, Utah Agr. Exp. Sta. Bul. 142. 1916.
- Briggs, L. J., and Shantz, H. L. The Wilting Coefficient for Different Plants and its Indirect Determination U. S. D. A., Bur. Plant Ind. Bul. 230. 1912.
- Harris, F. S. The Duty of Water in Cache Valley, Utah. Utah Agr. Exp. Sta. Bul. 173. 1920.
- Hendrickson, A. H., and Veihmeyer, F. J. Irrigation Experiments With Peaches in California, California Agr. Exp. Sta. Bul. 479. 1929.
- Magistad, O. C., and Breazeale, J. F. Plant and Soil Relations At and Below the Wilting Percentage, University of Arizona Agr. Exp. Sta. Technical Bul. 25. 1929.
- Powers, W. L. Field Moisture Capacity and Wilting Points of Soils, Soil Sci., 14, No. 2, 1922.
- Shull, Charles Albert. Measurement of the Surface Forces in Soils. Bot. Gazette, 62:1-31. 1916.
- Thomas, Moyer D. Aqueous Vapor Pressure of Soils, Soil Sci., 11, No. 6. 1921.
- Thomas, M. D. Aqueous Vapor Pressure of Soils, Soil Sci., 17: 1-18; 25:409-418. 1928.
- Thompson, C. A., and Barrows, E. L. Soil Moisture Movement in Relation to Growth of Alfalfa, New Mexico Agr. Exp. Sta. Bul. 123. 1920.
- Veihmeyer, F. J., and Hendrickson, A. H. Soil Moisture at Permanent Wilting of Plants, Plant Physiology, 3:355-357. 1928.
- Veihmeyer, F. J., and Hendrickson, A. H. The Relation of Soil Moisture to Cultivation and Plant Growth, Proc. First Int. Cong. Soil Sci., 3. 1927.

#### R F J I A B E X I V

- Harding, S. T., et al. Consumptive Use of Water in Irrigation, Trans. Am. Soc. C. E., 94, Paper 1760. 1930. (A Report of the Duty of Water Committee).

- Harris, F. S. The Duty of Water in Cache Valley, Utah. Utah Agr. Exp. Sta. Bul. 173. 1920.
- Hemphill, Robert G. Irrigation in Northern Colorado, U. S. D. A. Bul. 1026. 1922.
- Israelsen, Orson W., and Winsor, Luther M. Duty of Water in Sevier Valley, Utah. Utah Agr. Exp. Sta. Bul. 182. 1922.
- Kiesselbach, T. A. Transpiration as a Factor in Crop Production, Nebraska Agr. Exp. Sta. Research Bul. 6. 1916.
- Levis, M. R. Experiments on the Proper Time and Amount of Irrigation, Twin Falls Exp. Sta. 1914, 1915 and 1916. U. S. D. A. (Unpublished reports).
- Powers, W. L. Irrigation and Soil Moisture Investigations in Western Oregon, Oregon Agr. Exp. Sta. Bul. 140. 1914.
- Snelson, W. H. Irrigation Practice and Water Requirements for Crops in Alberta, Canada, Reclamation Service, Irrigation Series, Bul. 6. 1922.

#### K I J I A B E X V

- Adams, Frank, Robertson, Ralph O., Beckett, Samuel H., Hutchins, Wells A. and Israelsen, O. W. Investigations of the Economical Duty of Water for Alfalfa in Sacramento Valley, California, State of Calif. Dept. of Eng. 1917.
- Bloodgood, Dean W., and Curry, Albert S. Net Requirements of Crops for Irrigation Water in the Mesilla Valley, New Mexico, N. M. Agr. Exp. Sta. Bul. 149. 1925.
- Clyde, Harry S., Gardner, Willard and Israelsen, O. W. The Economical Use of Irrigation Water Based on Tests, Eng. News-Record, 91, No. 14:548. 1923.
- Fortier, Samuel. Irrigation Requirements of the Arable Lands of the Great Basin, U. S. D. A. Dept. Bul. 1340. 1925.
- Harris, F. S., and Pittman, D. W. The Irrigation of Alfalfa, Utah Agr. Exp. Sta. Bul. 180. 1921.
- Israelsen, O. W., and Winsor, Luther M. The Net Duty of Water in Sevier Valley, Utah Agr. Exp. Sta. Bul. 182. 1922.
- Knight, C. S. Irrigation of Alfalfa in Nevada, University of Nevada Agr. Exp. Sta. Bul. 93. 1918.
- Marr, James C. The Use and Duty of Water in the Salt River Valley, University of Arizona Agr. Exp. Sta. Bul. 120. 1927.
- Snelson, W. H. Irrigation Practice and Water Requirements for Crops in Alberta, Dept. of the Interior, Canada, Irrigation Series. Bul. 6. 1922.
- Welch, J. S. Experiments with Legume Crops Under Irrigation, University of Idaho Agr. Exp. Sta. Bul. 94. 1917.
- Widtsoe, John A. The Production of Dry Matter with Different Quantities of Irrigation Water, Utah Agr. Exp. Sta. Bul. 166. 1912.

#### K I J I A B E X V I

- Alexander, W. P. «Duty of Water»—A Relic of Early Irrigation Terminology, The Hawaiian Planters' Record, 32, No. 1:122—130. 1928.
- Debler, E. B. Use of Water on Federal Irrigation Projects. Trans. Am. Soc. C. E., 94, Paper No. 1755. 1930. (See also Accompanying Discussions).
- Fortier, Samuel. Irrigation Requirements of the Arable Lands of the Great Basin, U. S. D. A. Dept. Bul. 1340. 1925.
- Harding, S. T., et al. Determination of the Duty of Water in Water Right Adjudications, Trans. Am. Soc. C. E., 90, Paper No. 1074. 1927.

#### K I J I A B E X V I I

- Clyde, Harry S., Gardner, Willard, and Israelsen, O. W. The Economical Use of Irrigation Water Based on Tests, Eng. News-Record, 91, No. 14:548. 1923.
- Israelsen, Orson W., and Winsor, Luther M. The Duty of Water in Sevier Valley, Utah Agr. Exp. Sta. Bul. No. 182. 1927. (см. особенно стр. 16—18).
- Smith, G. E. P. Use and Waste of Irrigation Water, Arizona Agr. Exp. Sta. Bul. 88. 1919.

## K F I A B E XVIII

- Aicher, L. C. Growing Irrigated Grain in Southern Idaho, U. S. D. A. Farmers' Bul. 1103. 970.
- Bloodgood, Dean W., and Curry, Albert S. Net Requirements of Crops for Irrigation Water in the Mesilla Valley, New Mexico, New Mexico Agr. Exp. Sta. Bul. 149. 1925.
- Beckett, S. H., and Huberty, M. R. Irrigation Investigations with Field Crops at Davis and at Delhi, California, 1909—1925, California Agr. Exp. Sta. Bul. 450. 1928.
- Fortier, Samuel, Irrigation Requirements of the Arable Lands of the Great Basin, U. S. D. A. Dept. Bul. 1340. 1925.
- Fortier, Samuel, and Young, Arthur A. Irrigation Requirement of the Arid and Semi-arid Lands of the Southwest, U. S. D. A. Tech. Bul. 185. 1930.
- Harris, F. S. The Irrigation of Wheat, Utah Agr. Col. Exp. Sta. Bul. 146. 1916.
- Harris, F. S., and Pittman, D. W. The Irrigation of Oats, Utah Agr. Exp. Sta. Bul. 167. 1919.
- Harris, F. S., and Pittman, D. W. The Irrigation of Barley, Utah Agr. Exp. Sta. Bul. 178. 1922.
- Humbert, E. P. Wheat Growing Under Irrigation, New Mexico Agr. Exp. Sta. Bul. 84. 1912.
- Johes, J. S., Clover, C. E., and Fishburn, H. P. Irrigation and the Protein Content of Wheat, Idaho Agr. Exp. Sta. Bul. 109. 1918.
- Knight, C. S., and Hardman, George. Irrigation of Field Crops in Nevada, Nevada Agr. Exp. Sta. Bul. 96. 1919.
- Marr, James C. The Use and Duty of Water in Salt River Valley (Arizona), University of Arizona Agr. Exp. Sta. Bul. 120. 1927.
- Pittman, D. W., and Stewart, George. Twenty-eight Years of Irrigation Experiments Near Logan, Utah Agr. Exp. Sta. Bul. 219. 1930.
- Welch, J. S. Experiments with Small Grains Under Irrigation, Idaho Agr. Exp. Sta. Bul. 93. 1917.

## K F I A B E XIX

- Beckett, S. H., and Huberty, M. R. Irrigation Investigations with Field Crops at Davis and at Delhi, California, 1909—25, California Agr. Exp. Sta. Bul. 450. 1928.
- Beckett, S. H., and Robertson, R. D. The Economical Irrigation of Alfalfa in Sacramento Valley, California Agr. Exp. Sta. Bul. 280. 1917.
- Fortier, Samuel. Irrigation Requirements of the Arable Lands of the Great Basin, U. S. D. A. Dept. Bul. 1340. 1925.
- Harris, F. S., and Pittman, D. W. The Irrigation of Alfalfa, Utah Agr. Exp. Sta. Bul. 180. 1921.
- Israelsen, Orson W., and Winsor, Luther M. The Net Duty of Water in Sevier Valley (Utah), Utah Agr. Exp. Sta. Bul. 182. 1922.
- Knight, C. S. Irrigation of Alfalfa in Nevada, Nevada Agr. Exp. Sta. Bul. 93. 1918.
- Mc Neely, L. R., and Koble, Geo W. Soil Physics and Soil Moisture in Relation to First Year's Growth of Alfalfa, New Mexico Agr. Exp. Sta. Bul. 93. 1915.
- Packard, W. E. Irrigation of Alfalfa in Imperial Valley, California Agr. Exp. Sta. Bul. 284. 1917.
- Powers, W. L., and Johnston, W. W. The Improvement and Irrigation Requirements of Wild Meadow and Tule Land, Oregon Agr. Exp. Sta. Bul. 167. 1920.
- Powers, W. L., and Johnston, W. W. Irrigation of Alfalfa, Oregon Agr. Exp. Sta. Bul. 189. 1922.
- Stewart, George. Alfalfa Production Under Irrigation, Utah Agr. Exp. Sta. Circular 45. 1921.
- Thompson, C. A., and Barrows, E. L. Soil Moisture Movement in Relation to Growth of Alfalfa, New Mexico Agr. Exp. Sta. Bul. 123. 1920.
- Welch, J. S. Experiments with Legume Crops under Irrigation, Idaho Agr. Exp. Sta. Bul. 94. 1917.

## R I J A B E XX

- Harris, F. S., and Pitman, D. W. Irrigation Experiments with Sugar Beets, Utah Agr. Exp. Sta. Bul. 186. 1923.
- Harris, F. S., and Pittman, D. W. Irrigation Experiments with Potatoes, Utah Agr. Exp. Sta. Bul. 187. 1923.
- Israelsen, Orson W., and Winsor, Luther M. The Net Duty of Water in Sevier Valley (Utah), Utah Agr. Exp. Sta. Bul. 182. 1922.
- Sandston, E. P. Potato Growing in Colorado, Colorado Agr. Exp. Sta. Bul. 314. 1927.

## R I J A B E XXI

- Abell, H. Some Observations on Winter Injury in Utah Peach Orchards, Utah Agr. Exp. Sta. Bul. 202. 1927.
- Batchelor, L. D. Irrigation of Peaches, Utah Agr. Exp. Sta. Bul. 142. 1919.
- Ballantyne, A. B. Fruit Variety Tests on the Southern Utah Experiment Farm, Utah Agr. Exp. Sta. Bul. 124. 1913.
- Beckett, S. H., Blaney, Harry F., and Taylor, Colin A. Irrigation Water Requirement Studies of Citrus and Avocado Trees in San Diego County, California, 1926 and 1927 Bul. 489, California Agr. Exp. Sta. April. 1930.
- Eortier, Samuel. Irrigation of Orchards, U. S. D. A. Farmers, Bul. 885.
- Hendrickson, A. H., and Veihmeyer, F. J. Irrigation Experiments with Peaches in California. II. Canning Quality of Irrigated Peaches, by P. F. Nichols, Bul. 479, California Exp. Sta. November, 1929.
- Huberty, M. R., and Brown, J. B. Irrigation of Orchards by Contour Furrows, Circular 16, California Agr. Ext. Service, April, 1928.
- Lewis, C. I., Kraus, E. J. and Rees, R. W. Orchard Irrigation Studies in the Rogue River Valley, Oregon Agr. Exp. Sta. Bul. 113. 1912.
- Robertson, Ralph D., and Nelson, J. W. Irrigation and Soil Conditions in the Sierra Nevada Foothills, California Agr. Exp. Sta. Bul. 253, May, 1915.
- Taylor, E. P., and Downing, C. J. Experiments in the Irrigation of Apple Orchards, University of Idaho Agr. Exp. Sta. Bul. 99. May, 1917.
- Thomas, Edward E. Studies on the Irrigation of Citrus Groves, California Agr. Exp. Sta. Bul. 341, March, 1922.
- Veihmeyer, F. J., and Hendrickson, A. H. Essentials of Irrigation and Cultivation of Orchards, California Agr. Ext. Service Circ. 50. 1930.

## R I J A B E XXII

- Davidson, J. B. Summary of Six Years' Experimentation in Sewage Irrigation, Iowa Agr. Exp. Sta. (Unpublished Report).
- Kay, A. O. Brief Discussion of Subsurface, Surface, and Overhead Irrigation in Florida, Univ. Exp. Bul. 24, pp. 45-48. 1920.
- Lewis, M. R., et al. Areas Needing Supplemental Irrigation and the Benefits to be Expected Therefrom, Rept. Com. on Irrig. Am. Soc. Agr. Eng. 1931. (Unpublished).
- Loree, R. E. Mich. State Quarterly, Bul. 4, pp. 55-56. 1921.
- Seitz, Chas. E. Outlook for Irrigation in Virginia Orchards. 1930. (Unpublished MSS supplied by its author).
- Staebner, F. E. Surface Irrigation in the Eastern States, U. S. D. A. Farmers' Bul. 1635. 1930.

## УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

- $A$  — площадь земли в акрах, покрытая водой за время ( $t$ ) при поливе напуском по полосам.
- $A_c$  — кажущийся удельный вес почвы.
- $a$  — площадь поперечного сечения струи воды в кв. футах;
- то же — площадь орошенной земли в акрах.
- $b$  — ширина дна канала в футах.
- $C$  — коэффициент расхода или константа (различие в употреблении отмечено знаком:  $C'$  или  $C''$ ).
- $D$  — глубина промоченной почвы в дюймах или футах;
- то же — средняя глубина воды в футах.
- $D_f$  — потери через просачивание вглубь.
- $d$  — глубина заданной воды в дюймах или футах;
- то же — диаметр водной пленки в почве.
- $E_a$  — продуктивность полива.
- $E_c$  — продуктивность проведения воды.
- $E_i$  — продуктивность орошения.
- $E_t$  — продуктивность транспирации.
- $E_u$  — продуктивность расхода воды на потребление.
- $e$  — испарение с водной поверхности.
- $F$  — движущая сила на единицу массы.
- $F^g$  — движущая сила тяжести на единицу массы.
- $F^r$  — трение или задерживающая сила на единицу массы.
- $F^p$  — движущая сила на единицу массы, обусловленная различиями в давлении.
- $g$  — ускорение, вызванное силой тяжести, или сила тяжести на единицу массы;
- то же — количество воды, поглощенное из гравитационной грунтовой воды.
- $H$  — высота напора над порогом водослива в футах;
- то же — глубина любой точки по вертикали от поверхности воды.
- $HP$  — лошадиная сила.
- $H_f$  — общее количество воды, поданное хозяйству.
- $h$  — подъем воды по вертикали в футах;
- то же — понижение уровня водной поверхности при протекании через затопленное отверстие в футах;
- то же — расстояние от водной поверхности до середины отверстия;
- то же — высота водного столба в капиллярной трубке или в столбе ненасыщенной почвы.
- $h_c$  — падение водной поверхности в канале на протяжении  $l$ .
- $h_n$  — различия в высоте напора, т. е. ( $h_2 - h_1$ ), обусловленные различиями в давлении.
- $h_e$  — напор, обусловленный подъемом.
- $h_p$  — напор, обусловленный давлением.
- $h_f$  — падение линии гидравлического градиента или потеря в напоре от трения, обусловленного течением по протяжении  $l$ .
- $K$  — константа.

- $kWh$  — киловатт-час.  
 $k$  — удельная водопроницаемость.  
 $K_p$  — константа передачи.  
 то же — гидравлическая проницаемость;  
 то же — коэффициент проницаемости.  
 $L$  — эффективная длина порога водослива в футах.  
 $L'$  — измеренная длина порога водослива в футах.  
 $l$  — длина пути тока воды.  
 $M$  — число месяцев;  
 то же — масса тела.  
 $m$  — среднее содержание воды за сезон;  
 то же — количество воды, поглощенное из запасенной капиллярной воды.  
 $N$  — общее количество доступных за год акро-футов воды.  
 $n$  — коэффициент шероховатости или «фактор задержки».  
 $P_p$  — процент влажности к сухому весу.  
 $P_v$  — процент влажности к объему.  
 $h$  — скорость, с которой вода просачивается в почву;  
 то же — давление воды;  
 то же — давление пленки.  
 $p'$  — разность давлений, т. е.  $p_2 - p_1$ .  
 $q$  — струя или расход в куб. фут/сек.  
 $Q_h$  — количество доступного тепла в градусо-днях в течение вегетационного периода.  
 $R$  — относительная продолжительность полива в куб. фут/сек на акр.  
 $R_p$  — истинный удельный вес почвы.  
 $R_f$  — поверхностный сток.  
 $r$  — гидравлический радиус, т. е. отношение площади поперечного сечения воды к смоченному периметру;  
 то же — количество осадков за вегетационный период;  
 то же — радиус сферического тела или капиллярной трубки или водяной пленки в почве.  
 $r_1$  — большой радиус эллипсоида.  
 $r_2$  — малый радиус эллипсоида.  
 $S$  — процент порозности почвы.  
 $s$  — уклон водной поверхности;  
 то же — гидравлический уклон.  
 $T$  — поверхностное натяжение;  
 то же — вес транспирированной воды;  
 то же — время.  
 $t$  — время пробега воды по полосе в часах;  
 то же — время, необходимое для полива данной площади.  
 $U$  — годовой расход воды на потребление.  
 $U_f$  — годовой расход воды на потребление в хозяйстве.  
 $v$  — скорость тока воды в футах в секунду.  
 $W_f$  — вода, поданная хозяйству.  
 $W_s$  — вода, накопленная в почве хозяйства.  
 $W_t$  — вода, транспирированная растением.  
 $W$  — вес или сила тяжести.  
 $\Sigma W_f$  — сумма количеств воды, поданной в хозяйства, снабжаемые одним каналом.  
 $w$  — вес куб. фута воды;  
 то же — сезонное количество поливной воды.  
 $y$  — урожай за год;  
 то же — средняя глубина воды в дюймах во время ее течения по земле.  
 $y_d$  — вес сухого вещества в урожае.  
 $\rho$  — плотность, т. е. масса на единицу объема.  
 $\theta$  — угол между боковой стенкой канала и горизонталью.

Примечание. Каждое из этих условных обозначений объясняется и в тексте, там, где оно впервые применяется. Этот список прилагается лишь для удобства при повторных употреблении обозначений.

## МЕРЫ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ В США, В ПЕРЕВОДЕ НА МЕТРИЧЕСКИЕ

### а) Меры длины

1 миля (американск.) = 1 609 м.

1 фут (1') = 30,48 см.

1 дюйм (1") = 2,54 см.

### б) Меры площади

1 акр = 0,405 га = 4,047 кв. м.

1 кв. фут. = 0,0929 кв. м = 929 кв. см.

1 кв. дюйм = 6,452 кв. см.

### в) Меры объема

1 бушель = 35,24 л

1 бушель пшеницы приблизительно = 29 кг

1 » овса » = 17,5 »

1 » ячменя » = 21,8 »

1 галлон = 3,785 л

1 галлон в мпц. = 0,063 л в сек.

1 куб. фут = 0,0283 куб. м = 28,317 л.

1 куб. дюйм = 16,387 куб. см.

1 акрофут = 1 233,53 куб. м.

1 акродюйм = 102,79 куб. м.

### г) Меры веса

1 тонна (длинная) = 1,016 метрич. т.

1 тонна (короткая) = 0,907 метрич. т.

1 фунт коммерч. = 453,6 г.

## УКАЗАТЕЛЬ

### А

- Абердинская подстанция в штате Айдаго, 236\*, 239.  
 Агрономическая сторона орошения, 7.  
 Азия, орошаемая площадь, 2.  
 Азот, 109.  
 Айдаго, исследования над соотношением урожая и потребленной воды в штате, 214.  
 Айова, бездождные периоды в штате, 276.  
 Акро-дюймы воды, накопление в почве, 123.  
 » » » количество при поливе напуском разных площадей 68, 69.  
 Акро-дюймы воды, определение термина, 32.  
 Акро-футы воды, накопление в почве, 123.  
 » » определение термина, 32.  
 Алабама, бездождные периоды в штате, 276.  
 Альберта; исследования расхода воды на потребление в провинции, 199.  
 Архимедов винт, 50.  
 Африка, орошаемая площадь, 2.

### Б

- Бассейн успокоительный, 39.  
 Бездождные периоды в США, 276.  
 Бесплодных земель площади, 275.  
 Биологические факторы, влияющие на потребление воды, 221.  
 Борозды, их длина, 75, 252, 256, 262.  
 » » глубина, 76, 256, 263;  
 » » поделка, 92, 93, 266;  
 » » метод полива по ним, 74—77.  
 » » метод полива по ним, что учесть при его выборе, 74, 153, 252, 261, 281.

- Борозды, их наклон, 264.  
 » орудия для их поделки, 92, 93.  
 » расположенные, 76, 252, 261, 263, 266.  
 » распределение воды к ним, 77, 252, 265.  
 Бороздники, 92, 93.  
 Борозны, 90, 153.  
 Борьба с вредителями, полив в качестве меры, 221.  
 Брюква, транспирационный коэффициент, 165.  
 Буры почвенные, 119, 120.  
 » » правильное применение, 190, 263, 273.  
 Бурение колодцев, 60.  
 Быстротоки, 30.

### В

- Валики, 66, 70, 267.  
 » орудия для их поделки, 91.  
 Валовое потребление воды, 218, 220.  
 Вашингтон, исследования над запасанием воды в почве в штате, 128.  
 Великого бассейна районы свекло-сеяния, 253.  
 Великого бассейна подача воды реками, 14.  
 Вентури, счетчик, 43, 45.  
 Вертушка гидрометрическая, 44.  
 Вес почвы удельный истинный, 102.  
 Вес почвы удельный кажущийся, 104, 123, 125, 208.  
 Винтовые насосы, 56.  
 Виргиния, потребность в орошении плодовых садов в штате, 277, 282.  
 Висконсин, бездождные периоды в штате, 276.  
 Влага почвенная гигроскопическая, 111;  
 Влага почвенная гравитационная 111, 114, 118.

\* Цифрами обозначены параграфы.

- Влага почвенная доступная, 111.
- Влага почвенная капиллярная, 111, 118.
- Влага почвенная недоступная, 111.
- Влага почвенная, определение количества ее в единице объема, 104.
- Влага почвенная, применение в практике орошения знаний ее, 117.
- Влага почвенная, состояния ее, 111.
- Влагоемкость капиллярная полевая, 116, 122, 123, 124.
- Влагоемкость капиллярная полевая, определение, 124.
- Влажность эквивалент, 116, 126.
- Влажность почвы, 111, 114, 121, 123, 137.
- Влажность почвы, влияние ее на передвижение воды, 138.
- Влажность почвы, влияние ее на рост растений, 178, 183, 184.
- Влажность почвы, влияние ее на транспирационный коэффициент и продуктивность транспирации, 170.
- Влажность почвы, градиент ее, 146.
- Влажность почвы, зависимость условий равновесия ее от механического состава, 115.
- Влажность почвы и орошение, 125, 129, 184, 269.
- Влажность почвы и константы ее, 116.
- Влажность почвы и определение ее, 121.
- Влажность почвы оптимальная для роста, 178.
- Влажность почвы и равновесие в поле, 124.
- Влажность почвы и условия равновесия, 114, 116.
- Влажность различных почв в процентах, 184.
- Влажный климат, орошение, 277.
- Влажный климат, потребность в поливе, 282.
- Внешний вид растений, как показатель потребности в поливе, 180.
- Вода, вес ее на единицу объема, 20;
- Вода в почве, формы ее, количество и т. д., см. Влага и влажность.
- Вода, вычисление потребностей в ней, 237.
- Вода, глубина ее при поливе разных площадей, 68, 69, 73.
- Вода грунтовая, 16, 49, 58, 59, 79, 88, 152, 157, 187, 194, 197, 207, 208, 280.
- Вода грунтовая, влияние уровня ее на передвижение воды и солей, 114, 152.
- Вода грунтовая, снижение ее уровня, 16, 59, 157.
- Вода, единицы измерения количества ее, 32, 47.
- Вода, измерения накопления ее в почве, 125—128.
- Вода, измерения потребленного количества ее, 208.
- Вода, интенсивность давления ее, 20, 33.
- Вода, источники потребления для растения, 207;
- Вода, количества ее, потребленные на урожай, 210, 212, 214, 215; см. также соответствующие культуры.
- Вода, количества ее, потребляемые при орошении, XVI.
- Вода, масса ее на единицу объема, 115.
- Вода оросительная, избыток ее, 232.
- Вода оросительная, источники ее добытия, см. Водоснабжение.
- Вода оросительная, количество ее, потребленное на оросительных системах, 228.
- Вода оросительная, количество, потребное во влажном климате, 282.
- Вода оросительная, количество для молодых плодовых садов, огородных культур и земляники, 282.
- Вода оросительная, количество ее, потребное на дерево, 272.
- Вода оросительная, количество ее, потребное при дождевании, 89.
- Вода оросительная, недостаток ее, 232.
- Вода, передвижение ее в почве, X; см. также Ток. Водопроводимость и Водопропускная способность.
- Вода, показатели потребности в ней, 179, 180.
- Вода, потери ее, см. Потери.
- Вода, продуктивность использования, проведения, подачи, см. Продуктивность.
- Вода, разделение ее, 46.
- Вода, распределение ее, 46, 72, 189.
- Вода, расход ее на потребление XIV; см. также Расход воды на потребление и соответствующие культуры.

- Вода, сезонное потребление различными культурами, 186.
- Вода, ток: ее в различных условиях, см. Ток.
- Вода, факторы передачи ее в почве, 141.
- Водный регистратор Лаймана, 45.
- Вододелители, 46.
- Водомер Вентури, 43.
- Водомер Паршалля, 43.
- Водомер разделительный бетонный, 46.
- Водомерная рейка, 40.
- Водомерная рейка Клаузен-Пирса, 42-а.
- Водоносные слои, 61, 63.
- Водопроницаемость удельная, 107, 141, 142.
- Водопроницаемость удельная, насыщенных почв, 142.
- Водопроницаемость, 67, 106, 260.
- Водопроницаемость, гидравлическая, 141.
- Водопроницаемость, единицы измерения, 141.
- Водопроницаемость, измерение, 142.
- Водопроницаемость, коэффициент, 141.
- Водопроницаемость, определение термина, 141.
- Водоразделы, 12.
- Водосливы, измерение напора или глубины на пороге их, 40.
- Водосливы, их преимущества и недостатки, 38.
- Водосливы, наилучшие размеры их таблица 2, 39.
- Водосливы переносные, 41.
- Водосливы, правила пользования ими, 39.
- Водосливы, процент ошибки при измерении напора, табл. 3, 40.
- Водосливы, уравнение стока через них, 35.
- Водосливы, формы их; прямоугольный без боковых граней, 35, 42.
- Водосливы, формы их; то же, усовершенствованный Лайманом, 42.
- Водосливы, формы их; прямоугольный с боковыми гранями, 35.
- Водосливы, формы их; трапециодальный Чполлетти, 35.
- Водосливы, формы их; треугольный 90°, 35.
- Водоснабжение для оросительных целей, 6, 12, 13, 14, 15, 16, 58, 59, 87, 88, 280, 283.
- Водоснабжение для дождевания, 87, 88.
- Водоснабжение для орошения накачиванием, 58, 59.
- Водоудерживающая способность почвы, удельная, 122.
- Водохранилища, 190, 280.
- Водохранилища надземные, 15, 58, 187.
- Водохранилища подземные, 16, 280.
- Водохранилища, почва в качестве, 1.5, 129, 177, 187, 188, 190, 268, 270.
- Водохранилища, заполнение капиллярного, 129.
- Вредители, орошение в качестве меры борьбы с ними, 221.
- Выводные сооружения временные, 98.
- Выводные сооружения постоянные, 96.
- Вывывание избытка солей, 158, 162, 221.
- Высота механического подъема воды, 49.
- Высота напора 20, 33, 34, 35.
- » » разность ее, 20.

## Г

- Гигроскопическая влага, 111.
- Гигроскопичности коэффициент, 111, 116.
- Гидравлический градиент, 141.
- Гидравлическая проницаемость, 141.
- Гидравлического градиента линии, 23, 133.
- Гидрометр Гоффа, 44.
- Гидрометрические вертушки, 44.
- Глубина воды, влияние ее на величину стока через водосливы, 35, 37.
- Глубина воды, измерение ее на пороге водослива, 40.
- Глубина воды на пороге водослива, 39.
- Глубина воды при поливе различных площадей, 68, 69.
- Головной шлюз-регулятор, 36, 86, 96.
- Гравитационная вода, 111, 114.
- Гравитационный потенциал, 130, 132, 134, 136, 143, 144.
- Гравитационный потенциальный градиент, 132, 134, 135, 146.
- Градиент влажности, 146.
- Градиент гидравлический, 141.
- Градиент гравитационный потенциальный, 132, 134, 135, 146.
- Градиент давления, потенциальный, 135.
- Градиент капиллярный, потенциальный, 145, 146.
- Градиент потенциальный, 132, 133, 134, 137, 141.
- Градиента, линии гидравлического, 23, 133.

Градиента, энергии, линии 23, 133.  
Гринвилльская опытная ферма в штате Юта, 127, 208, 209, 211, 238.  
Грунтовые воды, см. Вода грунто-  
вая.

## Д

Давление пленки, 113.  
Давление пленки, применение к почвенной влаге, 113.  
Давления, ток в горизонтальной трубе при разности, 20.  
Давления, потенциал, 130, 134, 135.  
Давления, потенциальный градиент, 135.  
Движущая сила за единицу массы, 20, 23, 61, 138, 139, 143.  
Детриджа счетчик, 45.  
Джипоунд, определение термина, 131.  
Дикий напуск, 64, 72.  
Дина, значение термина, 131.  
Дождевание, 82, 88, 89, 260, 278, 281, 282, 284.  
Дождевание, источники воды для него, 87, 88.  
Дождевание, поливные нормы для него, 89, 282.  
Дождевание, условия, благоприятствующие ему, 82.  
Дождевательные установки, 83—85.  
Драга, 90.  
    »    у-образная, 91.  
Дренаж для снижения уровня грунтовых вод, 157.  
Дренаж, коренная мелiorация засоления, 156.  
Дренаж после ливней и орошения, 159.  
Дренаж при подземном орошении, 80.  
Дренаж при поливе засоленной водой, 162.

## Е

Европа, орошаемая площадь, 2.  
Египет, 2, 11, 49, 50, 59, 64.  
Единицы измерения потребления поливной воды, 217.  
Единицы измерения силы, 48.  
Единицы измерения струи воды, 47.  
Единицы измерения тока воды в почве, 131.  
Единицы измерения объема воды, 47.  
Единицы измерения удельной водопроницаемости, 141.  
Единицы футо-фунто-сек, 131.

## Ж

Жолоба, 28, 95.  
    »    в плодовых садах, 265.  
Жолоба деревянные и бетонные, 77, 265.

## З

Заболачивание, 78, 80, 157, 160, 187.  
Завядание, коэффициент, 116, 178, 182, 183, 184, 269.  
Засоленность, 110.  
Засоленность поливной воды, 161, 221.  
Засоленность поливной воды, токсические пределы, 162.  
Засоленность почвы, токсические пределы, 154.  
Засоленность, состав солей, 150.  
Засоленные воды для орошения, 161.  
Засоленные земли, временные меры борьбы, 155.  
Засоленные земли, коренная мелiorация, 156.  
Засоленные земли, полив по бороздам, 153.  
Засоленные воды, приемы уменьшения испарения с поверхности, 153.  
Засоленные воды, удобрение их, 153.  
Засуха и засоление, 148.  
Засуха и страдание люцерны от нее, 245.  
Засушливые районы, 2, 11, гл. IX, 148, 207, 210, 223, 224, гл. XVIII, XIX, XX.  
Затопление, способ полива, 64.  
Земли засоленные, мелiorация их, 155, 156.  
Земли засоленные, районы распространения их в США, гл. XI.  
Земляника, орошение, 277, 278, 281, 282, 284.  
Зерновые злаки, вычисление потребностей в воде, 237.  
Зерновые злаки, методы и приемы орошения, 65, 66, 70, 74, 78, 232.  
Зерновые злаки, орошение их во влажных районах, 278.  
Зерновые злаки, проведение воды для их полива, 99.  
Зерновые злаки, соотношение потребленной воды и урожая, 214.  
Зерновые злаки, сроки их полива, 186, 233, 236.  
Зимний полив, 189, 275.

## И

Избыток солей, вымывание его, 158, 162, 221.

Избыточное орошение, страдание и снижение урожая при нем 212, 214, 215, 241, 251, 255, 258.  
 Измерение водопроницаемости почв, 142.  
 Измерение воды, водосливы для этого, 35—38.  
 Измерение воды, применяемые единицы, 32.  
 Измерение воды, точки, где производится, 218.  
 Измерение накопления воды в различных почвах, 125—128.  
 Измерение напора или глубины на пороге водослива, 40.  
 Измерение расхода воды на потребление, 195—203.  
 Измерение соотношения между урожаем и потребленной водой, 206—215.  
 Измерение тока воды, приборы для этого, 45.  
 Измерение транспирационного коэффициента, 165.  
 Иллинойс, бездождные периоды в штате, 276.  
 Индиана, бездождные периоды в штате, 276.  
 Испарение, влияние рыхления 174.  
 Испарение, непосредственное, 173.  
 Испарение, уменьшение его, 74, 124, 153, 174, 175, 254.  
 Испарительно-транспирационный коэффициент, 176, 192, 196.  
 Истинный удельный вес почвы, 102.  
 Источники оросительной воды, см. Водоснабжение.

## К

Калий, 109, 110.  
 Калифорния, исследования над накоплением воды в штате, 126.  
 Калифорния, исследования над влажностью почвы, 184.  
 Калифорния, исследования над соотношением потребленной воды и урожаем, 211, 212.  
 Кальций, 109, 110, 150, 152.  
 Канавы для подачи воды, земляные, 77, 99, 252, 265.  
 Канавы для подземного орошения, 79.  
 Канавы, орошение через полевые, 65.  
 Канавы при поливе методом лунок, 267.  
 Канавы распределительные, 65.  
 Каналы, 86.  
 » земляные, 26.

Каналы, измерение расхода воды в них, 44.  
 Каналы, облицованные бетоном, 27.  
 » оросительные в зап. штатах, 94.  
 Каналы открытые, ток в них, 23.  
 » сила, обуславливающая ток в них, 19, 132.  
 Капиллярная влага, 111.  
 » влага, распределение ее, 114.  
 Капиллярная влагоемкость, 122.  
 » » поле-вая, 116, 122, 123, 124.  
 Капиллярная влагоемкость полевая, ее определение, 124.  
 Капиллярная сила, 114.  
 Капиллярное водохранилище, заполнение его, 129.  
 Капиллярной влажности, запасание воды в форме, 125.  
 Капиллярные силы неуравновешенные, 212.  
 Капиллярные явления, гл. VIII.  
 Капиллярный подъем, 113, 114.  
 » потенциал, 135, 136, 137, 144.  
 Капиллярный потенциал и влажность почвы, 137, 144.  
 Капиллярный потенциал и измерение его, 137.  
 Капиллярный потенциальный градиент, 145, 146.  
 Капиллярный ток, 146.  
 » » в полевых почвах, 146.  
 Капиллярный ток,низу, 146, 212.  
 » » неравномерный, 143.  
 Капиллярный ток, равномерный, 143.  
 Капиллярный ток, горизонтальный, 144.  
 Капиллярный ток равномерный через наклонные трубки, 145.  
 Капуста, орошение ее, 278.  
 Картофель, методы и приемы орошения, 76, 256.  
 Картофель, орошение в Висконсинне, 278.  
 Картофель, потребность его в орошении, 186, 258.  
 Картофель, расход воды на потребление, 198, 201, 202, 203.  
 Картофель, соотношение урожая и потребленной воды, 215.  
 Картофель, сроки полива, 188, 257.  
 » транспирационный коэффициент, 165.  
 Кеттэра формула, 24, 31.  
 Клаузен-Пирса водомерная рейка, 42-а.  
 Клевер в междурядьях плодовых садов, 267, 272.

Клеввер орошение, 249, 250, 278.  
» расход воды на потребление, 200, 202.  
Клеввер транспирационный коэффициент, 165.  
Климат влажный, орошение культур в нем, 277.  
Климат влажный, потребность культур в поливе, 282.  
Климат влажный, его значение в почвообразовании, гл. VII.  
Климат и засоление, 148.  
» влажный, орошение, 8.  
Климатические факторы, влияющие на потребление воды, 223.  
Колодцы, 60, 88.  
» батарея, 63.  
» буровые с насосной выемкой, 60.  
Колодцы, методы бурения, 60.  
» накачивание из них, 59, 88.  
Колодцы, облицовка их с отверстиями, 60.  
Колодцы, подача воды ими, 61.  
» подготовка их, 62.  
Колорадо, исследования расхода воды на потребление в штате, 203.  
Колумбия, бездождные периоды в штате, 276.  
Константы почвенной влажности, 116.  
Кормовые культуры, методы их полива, 65, 66, 70.  
Кормовые культуры, орошение их, 250.  
Кормовые культуры, сроки их полива, 189.  
Корнеплоды, методы орошения, 78, 259.  
Корнеплоды, орошение, 259.  
» признаки потребности в воде, 180.  
Корнеплоды, соотношение между урожаем и потребленной водой, 215.  
Корни, повреждение их при проведении борозд, 263.  
Корни, распределение их у люцерны, 244.  
Коэффициент завядания, 116, 178, 182, 183, 184, 269.  
Коэффициент завядания, для картофеля, клевера и свеклы, 178.  
Коэффициент завядания, рост растений при влажности выше его, 183.  
Коэффициент испарительно-транспирационный, 176, 192, 196.  
Коэффициент полезного действия насосов, 48, 52, 53, 54, 55, 57, 167.

Коэффициент транспирационный, см. Транспирационный коэффициент.  
Кривая скорости течения, 44.  
» тяги-книзу, 61.  
Кривые характеристики насоса 52.  
Кукуруза, орошение в Висконсине, 278.  
Кукуруза, потребности в воде, 186, 242.  
Кукуруза, приемы при брошении, 76, 93.  
Кукуруза, расход воды на потребление, 198, 201.  
Кукуруза, соотношение урожая и потребленной воды, 214.  
Кукуруза, транспирационный коэффициент, 165.  
Культиватор для проведения борозд, 92.  
Культуры, орошение их во влажном климате, 277.  
Культуры, сезонные потребности их в воде, 186.

## Л

Лаймана, водный регистратор, 45.  
» водослив усовершенствованный прямоугольный, 42.  
Лаймана водослив сток через него, 42.  
Лимоны, орошение их, 93, 269.  
Лошадиная сила, 48, 50, 61.  
Луга и пастбища, сроки полива их, 189.  
Луга и сенокосные угодья, потребности их в орошении, 250.  
Лук, орошение его, 259, 278.  
» транспирационный коэффициент, 165.  
Лунками, метод полива, 71, 267.  
Люцерна, ее вегетационный период в различных районах, 247.  
Люцерна, влажность почвы при ее орошении, 184.  
Люцерна, влияние климата на потребность в воде, 223.  
Люцерна, влияние длины вегетационного периода на число укусов, гл. XIX.  
Люцерна, затопление полей, 243.  
» испытание потребности в воде, 212, 248.  
Люцерна, методы и приемы орошения, 74, 243.  
Люцерна, осенний полив, 188.  
» потребность в орошении, 186, 223, 247, 248.  
Люцерна, проведение воды для ее полива, 99, 100.  
Люцерна, распределение ее корней, 244.

Люцерна, соотношение между урожаем и потребленной водой, 212.  
Люцерна, сроки полива, 185, 186, 188, 245.  
Люцерна, транспирационный коэффициент, 165.  
Люцерна, частота поливов, 246.

## М

Маннинга формула, 24, 31, 138.  
Мелиорация засоленных земель, временные меры, 155.  
Мелиорация засоленных земель, коренная, 156—160.  
Методы изучения соотношения между урожаем и потребленной водой, 20.  
Методы изучения орошения, гл. V.  
Механическая работа, определение термина, 23.  
Механический подъем воды, высота его, 49.  
Механический подъем воды, приспособления для этого, гл. IV.  
Механический состав почвы, 101, 111, 137.  
Механический состав почвы, влияние его на влагоемкость и количество доступной воды, 122, 177, 181.  
Механический состав почвы, доступной на передвижение влаги, 124.  
Механический состав почвы доступной на подъем воды, 115.  
Механический состав почвы значение для частоты поливов, 177, 259.  
Мицелий, метод его орошения, 93.  
Миннеота, бездождные периоды в штате, 276.  
Миски, скрепер типа, 91.  
Мич ган, бездождные периоды в штате, 276.  
Молекулярные силы, нитра-, гл. VIII.  
Морковь, орошение ее, 259, 278.  
Мощность почвы, 108, 109, 280.  
Мульча, 153, 175.  
Мульча из соломы, 124, 153.

## Н

Накачивание из запасов грунтовых вод, 59.  
Накачивание из колодцев, 59, 61, 63.  
Накачивание, источники водоснабжения для него, 58, 59.  
Накачивание, высота, 49.  
Накачивание, примитивные методы, 50.

Накачивание, современные методы, 51.  
Накопление воды в почве, вычисление, 125.  
Накопление воды в почве при поливе, наблюдения в штатах: Вашингтон, 128, Калифорния, 126, Юта, 127.  
Напор, высота, 20, 33, 34.  
    > измерение 40.  
Напуском полив из полевых каналов, 65.  
Напуском полив по полосам, 66.  
Насосная выемка в колодце, 60, 63.  
Насосы винтовые, 56.  
Насосы для глубоких колодцев, 55, 56.  
Насосы, емкость их, 54, 57, 61.  
Насосы, заполнение водой всасывающей трубы, 54.  
Насосы, коэффициент полезного действия, 48, 49, 53, 54, 57.  
Насосы, кривые характеристики их, 52.  
Насосы поршневые или плунжерные, 57.  
Насосы прямого тока, 56.  
    > различные типы, 53.  
    > типа осевого тока, 56.  
    > турбинные для глубоких колодцев, 55.  
Насосы центробежные, 54.  
    > центробежные с горизонтальным валом, 54.  
Насосы центробежные спиральные, 54.  
Насосы центробежные турбинные, 54.  
Насыщение почвы полное, 116.  
Натяжение поверхностное, 111, 112.  
Нью-Джерси, бездождные периоды, 276.  
Нью-Джерси, орошаемые площади, 279.

## О

Облицовка колодцев, 60.  
Объемный вес почвы, 104.  
Овес, потребность в воде, 239.  
Овес, проведение воды для его полива, 235.  
Овес, расход воды на потребление, 198, 201, 203.  
Овес, соотношение между урожаями и потребленной водой, 214.  
Овес, сроки полива, 235.  
Овес, транспирационный коэффициент, 165.  
Овес, урожайность различных сортов при орошении, 239.  
Огайо, бездождные периоды в штате, 276.

Огородные культуры, методы их орошения, 82, 93, 259, 281, 284.  
Огородные культуры, насосы для их орошения, 57.  
Огородные культуры орошение их, 82, 277, 278, 282.  
Огородные культуры, потребности их в воде, 259, 282.  
Оливки, метод их полива, 93.  
Оросительные сооружения современные, 3, 6, 15, 17, 27, 28, 29, 30, 31, 60, 94.  
Орошаемые площади в разных странах, 2, 279.  
Орошение в местностях с влажным климатом, гл. XXII.  
Орошение дополнительно к осадкам, 275.  
Орошение, продуктивность его, 231.  
Орошение, распространение его на земном шаре, 2.  
Орошение, современное состояние его в США, 4.  
Орошения, факторы, определяющие время, 177—187.  
Орудия для орошаемого хозяйства, 90—93.  
Осадки годовые, 11.  
    » гор и долины, 12.  
    » и температура, 10.  
Осадки, орошение дополнительно к ним, 275.  
Осадки, области недостаточного количества их, 2.  
Осадки, учет их при определении потребленной воды, 193—195, 198, 203, 207.  
Осенний полив, 188, 268.  
Отверстия, затопленные, 36.  
Отверстия, свойства, 37.  
Отверстия, скорость тока через, 33.  
Отверстия, сток через, 34.

## П

Паршалля водомер, 43.  
Передвижение воды в почвах, гл. X, 140; см. также Ток.  
Перемычки земляные временные, 98.  
Перемычки переносные, 98.  
Перепады, 30.  
Периоды, бездождевые в некоторых штатах, 276.  
Период роста плодовых, орошение во время, 269.  
Персики, борозды для их орошения, 93.  
Персики, зависимость роста от влажности почвы, 178, 183.  
Персики, орошение их, 93, 178, 263, 269, 270, 273.  
Питательные вещества, 9, 109,

Питательные вещества, влияние их на продуктивность транспирации, 169.  
Пленки, давление, 113.  
Пленки, давление, в применении к почвенной влаге, 113.  
Плодовые культуры, орошение: абрикосов, 267, виноградников, 264, вишен, 261, 263, грецких орехов, 265, лимонов, 93, 269, миндаля, 93, оливок, 93, персиков, 93, 178, 263, 269, 270, 273, цитрусовых, 85, 93, 269, 274, 275, яблонь, 93, 272.  
Плодовые культуры, потребность в орошении, 271.  
Плодовые сады, влияние влажности почвы на их перезимовку, 269, 270.  
Плодовые сады, методы и приемы орошения, 71, 93, 260—263.  
Плодовые сады, методы проведения и подачи воды, 99, 265.  
Плодовые сады, молодые, орошение их, 263, 282.  
Плодовые сады, на склонах, 264.  
Плодовые сады, орошение их, 71, 76, 85, 93, 184, 189, 260—275, 277, 281, 282.  
Плодовые сады, полив их в период покоя, 270.  
Плодовые сады, сроки полива, 268—271.  
Плодородие почв, значение для потребности в воде, 109.  
Плотины, 6, 15, 86, 94.  
Плотность воды во влажной почве, 115.  
Площади, возможные для орошения в США, 4.  
Площади орошаемые на земном шаре, 2.  
Площадки, контурные и прямоугольные, 70.  
Площадки, метод полива ими, 70.  
Плуг, 90, 93, 266.  
Плунжерные насосы, 57.  
Поверхностное натяжение, 111, 112.  
Поверхностный сток, см. Потери воды от поверхностного стока.  
Подача воды в плодовые сады, 265.  
Подача воды потери при этом, 227, 230, 231.  
Подача воды, продуктивность ее, 230, 231.  
Подача воды реками и речными системами, 14, 58, 186, 190.  
Подача воды через канал, уравнение, 25.  
Подземное орошение, естественное, 78, 79.  
Подземное орошение и дренаж, 80.

- Подземное орошение искусственное, 81.
- Подъема воды, высота механического, 49.
- Подъема воды, приспособления для механического, гл. IV'.
- Покрывтия водой различных площадей, время, 68, 69.
- Полевая капиллярная влагоемкость, 116, 122, 124.
- Полевая капиллярная влагоемкость, определение, 124.
- Полив во время периода покоя, 187, 268, 269, 270.
- Полив зимний, 189.
- » нормы при дождевании, 89.
- Полив нормы см. соответствующие культуры, их потребности в воде, осенний, 188, 268.
- Полив относительная продолжительность времени дачи, 67, 68, 69.
- Полив продуктивность его, 229.
- » ранне-весенний, 190.
- » сроки, XIII, см. также по соответствующим культурам.
- Полив частота в зависимости от свойств почвы, 108, 177, 224, 246.
- Поливной воды глубина, 68, 69.
- Полное насыщение почвы, 116.
- Полосами метод полива, 66.
- Полосами метод полива быстрота дачи полива, 67.
- Полосами метод полива продолжительность, 68, 69.
- Порозность, 105, 124, 126, 139.
- » вычисление ее, 105.
- Поршневые насосы, 57.
- Потенциал, 130.
- Потенциал гравитационный, 130, 132, 134, 136, 143, 144.
- Потенциал давления, 120, 134, 135.
- » капиллярный, 135, 136, 137, 144.
- Потенциальный градиент, 132, 133, 134, 137, 141, 146, 174.
- Потенциальный градиент, гравитационный, 132, 134, 135, 146.
- Потенциальный градиент давления, 135.
- Потери воды от испарения, 174, 175, 191, 204, 208, 212, 230, 231.
- Потери воды от поверхностного стока, 72, 191, 192, 193, 197, 203, 208, 224, 229, 231.
- Потери воды от просачивания, 9, 65, 68, 69, 70, 71, 73, 75, 80, 108, 119, 165, 191, 192, 194, 199, 200, 207, 208, 209, 212, 214, 224, 229, 231, 270, 273, 284.
- Потери воды при проведении и подаче, 225, 227, 230.
- Потребление воды, зависимость от: биологических факторов, 220, 221; климатических факторов, 223; плодородия почвы, 109; подготовки полей, 225; потерь при подаче, 227; потерь при проведении, 226; свойств почвы, 224; физических факторов, 222; химических факторов, 220, 221; при орошении, 228.
- Потребность в воде, см. по соответствующим культурам.
- Потребность в воде сезонная, различных культур, 186.
- Потребность в поливе, показания внешнего вида на 180.
- Почва в качестве водоохранилища, 125, 129, 177, 187, 188, 190, 268, 270.
- Почва, глубина во влажных районах, 282.
- Почва, глубина в засушливых районах, 108.
- Почва засушливых районов, ее свойства, 9, гл. VII, 109, гл. VIII, 224.
- Почва, константы влажности, 116;
- » легкая, грубая, пористая и проницаемая, 67, 69, 70, 75, 78, 106, 225, 256, 262, 263, 269.
- Почва, минералы, входящие в ее состав, 102.
- Почва насыщенная, водопроницаемость ее, 142.
- Почва насыщенная, скорость тока в ней, 139.
- Почва, ненасыщенная, гл. X.
- » ненасыщенная, подача воды через нее, 140, 143.
- Почва, определение ее влажности, 121.
- Почва, поддержание ее плодородия, 9, 109.
- Почва, полевая, капиллярный ток в ней, 146.
- Почва, размывание ее при орошении, 66, 75, 77, 98, 233, 243, 252, 264.
- Почва, свойства ее, благоприятствующие подземному орошению, 78, 81.
- Почва, свойства ее, влияющие на потребление воды, 224.
- Почва, сдерживание в ней воздуха, 178.
- Почва, структура ее, 103, 111, 137, 259, 260, 262.
- Почва торфяная, 281.
- Почва тяжелая и непроницаемая, 67, 70, 106, 252, 262, 263, 266, 269.
- Почва, удельный вес ее действительный, 102.
- Почва, удельный вес ее кажущийся, 104, 123, 126, 208,

Почва хорошо дренированная, передвижение воды в ней, 152.  
Почвенные буры, 119, 120.  
Приборы для измерения тока воды, 45.  
Проведение воды оросительной, 12, 17, 95, 99, 100.  
Проведение воды оросительной к плодовым садам, 265.  
Проведение воды оросительной, потери при этом, см. Потери воды при проведении.  
Проведение воды, продуктивность, 230, 231.  
Проведение воды, сооружения для этого, 27—31, 95, 99.  
Продолжительность полива, 68.  
Продуктивность насосных установок, см. Коэффициент полезного действия.  
Продуктивность орошения, 231.  
» полива, 229, 231.  
» проведения и подачи, 230, 231.  
Продуктивность расхода воды на потребление, 204, 231.  
Продуктивность транспирации, 167, 204.  
Продуктивность транспирации, факторы, влияющие на нее, 168.  
Промежуточные культуры в плодовых садах, 266, 270, 272, 274.  
Проницаемость гидравлическая, 141; см. Водопроницаемость.  
Пропашные культуры, борозды для них, 76.  
Просачивание вглубь, см. Потери от просачивания вглубь.  
Пшеница, потребление ею воды в течение вегетационного периода, 186.  
Пшеница, потребление ею воды, вычисление, 237.  
Пшеница, потребность ее в воде, 238.  
Пшеница, проведение воды для полива, 99.  
Пшеница, расход воды на потребление, 198, 199, 201, 203.  
Пшеница, соотношение между урожаем и потребленной водой, 214.  
Пшеница, сроки полива, 234;  
» транспирационный коэффициент, 165.  
Пшеница, урожайность селекционных сортов при орошении, 238.

## Р

Равновесие влажности в почвенном столбе, 114.

Равновесие влажности, зависимость от механического состава, 115.  
Равновесие влажности почвы в поле, 124.  
Равновесие статическое, 134.  
» капиллярного потенциала, 136, 137.  
Радиус гидравлический, 22.  
Радиус кривизны пленки, зависимость подъема воды от него, 113, 115.  
Разделение оросительной воды, 46.  
Разность в давлении, ток в горизонтальной трубе при этом, 20.  
Разность высоты напора, 20.  
Размывание почвы при поливе, 66, 75, 77, 98, 233, 243, 252, 264.  
Распределение воды, 46, 72, 100.  
» корней, 244.  
Распределительные сооружения, 77, 100.  
Растворимые соли, избыток, 110.  
Расход воды на потребление, определение в сосудах, 196.  
Расход воды на потребление, определение на полевых участках, 197—203.  
Расход воды на потребление, определение термина, 191, 192.  
Расход воды на потребление, продуктивность, 204.  
Расход воды на потребление хозяйства, 193.  
Регистратор водный Лавмана, 45.  
Регулятор, боковой шлюз, 95, 96.  
» головной шлюз, 96.  
Резервуары, см. Водохранилища.  
Реки, засоленность воды, 163.  
» и речные системы, подача воды ими, см. Подача воды.  
Риджер для поделки валиков, 66.  
Рожь, 241.  
» потребность в воде, 241.  
» транспирационный коэффициент, 165.  
Рудный дюйм, определение термина, 32.  
Рыхление для уменьшения испарения, 254.  
Релейанс, счетчик, 45.

## С

Самопошущие приборы для измерения протекающей воды, 45.  
Сахарный тростник, орошение, 278.  
Свекла, методы и приемы орошения, 76, 92, 252.  
Свекла, обработка почвы, 252, 254.  
» орошение в Мичигане, 278.

Свекла, потребности в орошении, 255.  
 Свекла, расход воды на потребленные, 198, 201, 203.  
 Свекла, соотношение между урожаем и потребленной водой, 215.  
 Свекла, сроки полива, 253.  
 » транспирационный коэффициент, 165.  
 Свекла, требовательность к приемам орошения, 251, 252.  
 Сельдерей, борозды для полива его, 93.  
 Сенокосные угодья, потребности в улучшении и орошении, 250.  
 Сила, 48.  
 » двигателя, 61.  
 » движущая на единицу массы, 20, 21, 23, 61, 138, 139, 143.  
 Сила единицы измерения, 48.  
 » капиллярная, 136.  
 » » неуравновешенная, 212.  
 Сила, лошадиная, 48, 50, 61.  
 » отношение к механической работе, 130.  
 Сила, потребности в ней наносных установок, 48.  
 Силы задерживающие, 22, 30, 138.  
 » интрамолекулярные, гл. VIII.  
 Сифоны обратные, 4, 31, 78.  
 Склоны, 74, 93, 224, 264.  
 Скорости, уравнение, 24.  
 Скорость тока в почвах, 138, 139.  
 » » в трубах и каналах, 23, 24, 138.  
 Скорость тока единицы для ее измерения, 32.  
 Скорость тока через отверстия 33.  
 Скребок типа Миски, 91.  
 » Фрэнсо, 91.  
 Скрепер, см. Скребок.  
 Солей, избыток растворимых, 110,  
 » вымывание их, 158, 162, 221.  
 Соли в воде, происхождение их, 163.  
 Соли вредные, встречающиеся в почвах, 150.  
 Соли, накопление их в почве, 9,  
 » передвижение их в почве, 151.  
 Соли токсические пределы их в воде, 162.  
 Соли токсические, пределы их в почве, 154.  
 Сооружения выводные, временные, 98.  
 Сооружения выводные, гидравлические принципы, 97.  
 Сооружения выводные, постоянные (головные), 96.  
 Сооружения для проведения воды, см. Проведение воды.

Сооружения распределительные, см. Распределение и Распределительные сооружения.  
 Сооружения фермерские, оросительные, 94, 95.  
 Сорго, транспирационный коэффициент, 165.  
 Спаржа, приемы орошения, 93, 281.  
 Сроки полива различных культур, 186; см. также по соответствующим культурам.  
 Сроки полива, условия, определяющие их, 177, 178, 182—185.  
 Сток поверхностный, см. Потери от поверхностного стока.  
 Сток через водослив прямоугольный без бокового сжатия, 35.  
 Сток через водослив прямоугольный Лаймана, 42.  
 Сток через водослив треугольный, 35.  
 Сток через водослив уравнения, 35.  
 Сток через водослив Чиполетти, 35.  
 Сток через затопленные отверстия, 36.  
 Сточные воды, использование для орошения, 283.  
 Струг дорожный, 91.  
 Структура почвы, см. Почва.  
 Сухое вещество, 165, 237, 269.  
 Сухой вес, основание для вычисления влажности, 121.  
 Счетчик Вентури, 43, 45.  
 » Детриджа, 45.  
 » Релайнса, 45.

## Т

Ток в насыщенных почвах, скорость, 139.  
 Ток воды, приборы для его измерения, 45.  
 Ток в открытом канале, 23.  
 » » полевых почвах, капиллярный, 146.  
 Ток в трубах, 23, 133.  
 » единицы для измерения скорости, 32.  
 Ток капиллярный, 146.  
 » капиллярный вертикальный книзу, 146.  
 Ток капиллярный неравномерный, 143.  
 Ток капиллярный равномерный, 143.  
 Ток капиллярный равномерный горизонтальный, 144.  
 Ток через наклонные трубки, 145.  
 » » отверстие, скорость, 33.  
 » » растение, скорость, 164.



## Щ

- Щиты в распределителях, 46.
- » для шлюзов, 96, 97.

## Э

- Эквивалент влажности, 116.
- Эквиваленты, применяемые в США, 47.
- Эквипотенциальные области, 134.
- Энергии для передвижения воды, затрата, 23.
- Энергии линии градиента, 23, 133.
- Энергия механическая, 23, 48.

## Ю

- Южная Америка, орошаемая площадь, 2.
- Южная Дакота, 278.
- Южная Каролина, бездождные периоды в штате, 276.
- Юта, исследования над влажностью почвы в штате, 184.

- Юта, исследования над запасами воды в почвах в штате, 127.
- Юта, исследования над соотношением урожая и потребленной водой в штате, 212, 214, 215.
- Юта, исследования расхода воды на потребление в штате, 198, 201.

## Я

- Яблони, методы и приемы орошения, 93, 263.
- Яблони, потребность в орошении, 269, 271.
- Ягодные кустарники, орошение их, 82, 278, 284.
- Ячмень, потребность в воде, 240.
- » проведение воды для полива, 99.
- Ячмень, расход воды на потребление, 198, 199, 201, 203.
- Ячмень, сроки полива, 236.
- Ячмень, транспирационный коэффициент, 165.
- Ящик водосливный, 39.
- » разделительный, 46.

## СОДЕРЖАНИЕ

|   | <i>Стр.</i> |
|---|-------------|
| Предисловие редактора перевода . . . . .  | 3           |
| От автора . . . . .   | 5           |
| <b>Глава I. Введение</b>  |             |
| Определение, объем, современное состояние и различные стороны проблемы орошения . . . . .   | 7—13        |
| <b>Глава II. Источники и способы проведения оросительной воды</b>   |             |
| Осадки, реки и водоемы. Движущие и задерживающие силы. Линии гидравлического градиента и градиента энергии, уравнения скорости падения и расхода воды и сооружения по проведению воды . . . . .             | 14—32       |
| <b>Глава III. Измерение оросительной воды</b>   |             |
| Единицы измерения воды, отверстия и водосливы, водомеры и распределители . . . . .  | 33—51       |
| <b>Глава IV. Механическое орошение</b>  |             |
| Потребность в силе, коэффициент полезного действия. Высота механического подъема, примитивные и современные методы накачивания, типы насосов и источники воды для механического орошения . . . . .          | 52—71       |
| <b>Глава V. Методы орошения</b>   |             |
| Заполнение и напуск, полив по бороздам, подземное орошение и дождевание. Нормы и сроки полива и необходимые глубины слоя поливной воды. Распределение воды . . . . .  | 72—94       |
| <b>Глава VI. Орудия и сооружения в орошаемом хозяйстве</b>  |             |
| Орудия для поделки валиков и мелких и глубоких борозд. Фермерские оросительные сооружения для отвода и проведения воды . . . . .  | 95—107      |
| <b>Глава VII. Некоторые свойства почвы</b>  |             |
| Механический состав, структура, истинный и кажущийся удельный вес, порозность, проницаемость, удельная водопроницаемость, мощность почв, питательные вещества и избыток растворимых солей в почве . . . . . | 108—114     |
| <b>Глава VIII. Основные взаимоотношения почвы и воды</b>  |             |
| Почвенная влага, поверхностное натяжение, давление пленки, условия равновесия и константы влажности . . . . .   | 115—127     |
| <b>Глава IX. Накопление воды в почвах</b>   |             |
| Запасенная вода, почвенные буры, влажность почвы и влагоемкость, полевые наблюдения по капиллярному запасанию воды и заполнение капиллярного водохранилища . . . . .  | 128—153     |

## Глава X. Передвижение воды в почвах

Потенциалы, потенциальные градиенты, эквипотенциальные области, влажность почвы и капиллярный потенциал, скорость тока в почве и подача воды через почвы, факторы передачи воды, равномерный капиллярный ток воды и капиллярный ток в естественных условиях . . . . . 154—176

## Глава XI. Орошение и засоление почвы

Климат и засоление, виды солей, передвижение их в почвах, значение уровня грунтовых вод, уменьшение испарения, токсические пределы концентрации и временные меры борьбы с засолением. Коренная мелиорация, снижение уровня грунтовых вод и уход за мелиорированными землями. Промхождение и вредные пределы засоления оросительных вод . . . . . 177—189

## Глава XII. Транспирация и испарение

Определение понятий транспирации, транспирационного коэффициента и продуктивности транспирации. Факторы, влияющие на продуктивность транспирации, включая доступные питательные вещества, влажность почвы, природу и мощность растений. Сокращение испарения, рыхление, мульча на растительной массе и испарительно-транспирационный коэффициент . . . . . 190—199

## Глава XIII. Сроки полива

Потребности культур, предельные условия влажности, внешний вид культур, доступная влага, коэффициент завядания, скорость роста при влажности выше коэффициента завядания, потребность во влаге различных почв и сезонное ее потребление различными культурами. Доступный запас влаги и осенний, зимний и весенний поливы . . . . . 200—211

## Глава XIV. Расход воды на потребление при орошении

Определение понятия расхода на потребление, его анализ. Трудности измерения расхода воды на потребление. Измерение расхода воды на потребление в сосудах и на полевых делянках . . . . . 212—222

## Глава XV. Соотношение между урожаем и потребленной водой.

Методы исследования, источники потребляемой воды, потери через просачивание вглубь. Обзор экспериментальных работ по соотношению урожая и потребленной воды . . . . . 223—237

## Глава XVI. Количества воды, потребляемые при орошении.

Терминология потребления, применяемые единицы и соотношения потребления, точки измерения и виды потребления. Биологические, химические, физические факторы, влияющие на потребление. Отчеты о потребляемой воде . . . . . 238—246

## Глава XVII. Продуктивность орошения

Продуктивность полива проведения и подачи воды. Продуктивность орошения . . . . . 247—251

## Глава XVIII. Орошение зерновых злаков

Методы и сроки полива, и потребность в воде пшеницы, овса, ячменя, ржи и кукурузы . . . . . 252—261

## Глава XIX. Орошение люцерны.

Методы и сроки полива, потребность в воде и распределение корней . . . . . 262—271

|  |         |
|--|---------|
| Глава XX. Орошение сахарной свеклы и картофеля   |         |
| Методы и сроки полива и потребность в воде сахарной свеклы и картофеля . . . . .   | 272—281 |
| Глава XXI. Орошение плодовых садов   |         |
| Методы и сроки полива и потребность в воде яблок, персиков, цитрусовых и других плодовых деревьев . . .  | 282—300 |
| Глава XXII. Орошение в местностях с влажным климатом   |         |
| Орошение в дополнение к естественным осадкам, недостаток в осадках, орошение культур влажного климата, экспериментальные данные, размеры орошения, источники водоснабжения и потребные количества воды . . . . . | 301—308 |
| Литература . . . . .   | 309     |
| Условные обозначения . . . . .   | 317     |
| Меры, применяемые в США, в переводе на метрические   | 319     |
| Указатель . . . . .  | 320     |

Редактор П. Кавун  
Техред Т. Соколова.  
Корректор Н. Колосков.

\*

Тираж 5000 экземпляров.  
21 печатн. лист. У. а. л. 26,9.  
В 1 печатном листе 49 000 знаков.  
Формат бумаги 62 × 94/16.  
Сдано в производство 20/VIII—1936 г.  
Подписано в печать 4/XI—14/XII 1936 г.  
Уполномоченный Главлита В-31971.  
Инд. 56 В. СХГ 5332 Заказ 1097.  
Бумага Камского бумкомбината.

\*

Цена книги 3 р. 75 к.  
Переплет 1 р. 15 к.

\*

---

18-я типография треста «Полиграффинга»,  
Москва, Шубинский пер., 10.

14

Э-00-ХИ КУЛЬТУРА И ИСКУССТВО  
БИБЛИОТЕКА УЗ С-ХИ

### ОПЕЧАТКИ

| Стр. | Строка    | Напечатано | Следует читать | По чьей вине<br>опечатка |
|------|-----------|------------|----------------|--------------------------|
| 241  | 22 сверху | зоны       | воды           | Редактор                 |
| 253  | 14 снизу  | почва      | почвы          | Корр. Варфоломеева       |
| 316  | 16 сверху | Та. у о г, | Та у о г,      | Корр. Коршунов.          |

Зах. 1097.